

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFIA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Campus Virtual da FCUL: Modelação de um Edifício Inteligente

Duarte Miguel André Lima

Mestrado em Engenharia Geográfica

Trabalho de Projeto orientado por:
Professora Doutora Paula Maria Ferreira de Sousa Cruz Redweik
Professora Doutora Cristina Maria Sousa Catita

2016

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFIA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Campus Virtual da FCUL: Modelação de um Edifício Inteligente

Duarte Miguel André Lima

Mestrado em Engenharia Geográfica

Trabalho de Projeto orientado por:
Professora Doutora Paula Maria Ferreira de Sousa Cruz Redweik
Professora Doutora Cristina Maria Sousa Catita

2016

“Duarte, se tu não conseguires, mais ninguém consegue!
Insiste e não “panica”.... Dá murros na mesa e um berro. Menos de 20 é derrota.
Força, são 7 meses sem vida!”

Carolina Silvestre Rocha

Agradecimentos

O meu especial agradecimento às minhas orientadoras, Prof. Doutora Paula Redweik e Prof. Doutora Cristina Catita, pelo apoio e atenção que me concederam ao longo do período de trabalho, por toda a força dada em momentos menos bons e por toda a boa disposição que foi sempre bem-vinda.

Agradeço aos Doutores Rui Santos e Rui Roda, da empresa ESRI Portugal, pelo suporte mostrado ao longo do período de trabalho e também por todas as informações fornecidas que foram sempre úteis e bem-vindas.

A todos os professores de Engenharia Geográfica, por toda a ajuda prestada ao longo da realização deste trabalho, que sempre me perguntaram se estava a ir bem.

Aos meus grandes amigos Verónica, Mariana, Inês, Ana Catarina, Carlos e Vasco, por me terem aturado durante esta fase importante nunca deixando de incentivar e de dizer e fazer o certo no tempo certo.

Aos meus amigos de faculdade, Carolina, Inês, Catarina, Joana, Luis, Adro, Gradiz, João e César, por todo o apoio mostrado ao longo do período de trabalho e também, por me terem aturado de perto durante este processo. Com gargalhadas ou apoio, também contribuíram para que eu conseguisse finalizar este trabalho.

Por fim agradecer aos meus pais, que me deram todas as possibilidades e ajudas que necessitei para que todo o caminho percorrido desde o início até este trabalho pudesse ter sido concretizado, aos meus avós, pelas suas palavras sábias, à minha irmã, que com a sua experiência, ajuda e conselhos me inspiraram em todo este processo e ao Virgílio, pela sua ajuda em momentos importantes do trabalho.

Resumo

O presente projeto tem como principal objetivo a criação de um modelo virtual tridimensional (3D) do *Campus* da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa com a finalidade de consultar informação sobre algumas das unidades de serviços existentes e sobre a localização de funcionários da Faculdade. A construção do modelo em causa contempla o interior e o exterior do *Campus*. No âmbito deste projeto, a modelação do interior, com algumas das suas infraestruturas, foi, a título de exemplo, efetuada para um dos edifícios, o Edifício C8, sendo que as infraestruturas modeladas apenas dizem respeito a este mesmo edifício.

Os elementos exteriores modelados correspondem aos estacionamento e arruamentos, espaços verdes e passeios, bem como todos os edifícios que constituem o *Campus*. Os dados usados para a modelação do interior do edifício C8 correspondem às plantas dos seis pisos, aos elementos de proteção contra incêndios, às condutas de AVAC e à canalização de abastecimento de água. A modelação dos elementos do exterior foi efetuada a partir de dados obtidos por restituição fotogramétrica, em formato de polígono, os quais foram transformados para o formato *multipatch* de modo a poderem ser devidamente modelados no *software* usado. Para a modelação do terreno usaram-se dados obtidos por *LiDAR* aéreo, os quais foram processados para a obtenção de um modelo digital de terreno com uma resolução espacial de 1m. No caso particular do edifício C8, as plantas dos pisos em formato *CAD*, foram georreferenciadas ao *footprint* do edifício (proveniente do modelo 3D do mesmo gerado a partir de ferramentas *SIG*) e editadas para que pudessem conter informação sobre cada espaço existente em cada piso. Já corrigidos e editados, cada piso foi modelado em 3D, tendo em conta a cota da base de cada um. As infraestruturas foram também georreferenciadas, numa primeira fase, às plantas finais e só depois foram editadas para poderem conter também informação sobre os objetos que as constituem. Finalizado este passo, os mesmos foram modelados em 3D. Para que os dados das infraestruturas e das plantas dos pisos pudessem conter informação não gráfica associada, foi necessário criar uma base de dados geográficos devidamente estruturada com vista a possibilitar a consulta e exploração do modelo virtual. Todo o processo de modelação do *Campus*, bem como da criação da base de dados, foi desenvolvido em ambiente *SIG*.

O *Campus* Virtual da *FCUL* foi exportado para a plataforma *CityEngine Web Viewer* (*ESRI*), com o objetivo de qualquer utilizador poder visualizar e consultar o modelo criado. A informação está organizada de modo a que nesta plataforma se possa visualizar o modelo por camadas de informação, estando as mesmas agrupadas por temas, e ainda realizar pesquisas sobre os dados. Estas últimas podem ser efetuadas sobre os espaços de cada piso, ou sobre as infraestruturas neles existentes. Opcionalmente, pode-se simplesmente selecionar interativamente um qualquer objeto modelado e visualizar toda a informação a ela associada.

Palavras-chave: Modelo 3D; *Campus* Virtual; Sistemas de Informação Geográfica; *Building Information Model*

Abstract

The primary objective of the project here developed is the creation of a Virtual *Campus* of the University of Lisbon Science's *Campus* with the purpose of representing the *Campus* in 3D. With this 3-dimensional vision I intended to show all of the components and services of the buildings (both out and in-side) and the respective information as well as the existing infrastructures. This representation of the *Campus* allows the users to access information of desired college units, professors and existing infrastructures. Within the scope and time of this project the interior of the building is presented for the C8 Building alone, while the outside consists of 3D-models for all the *Campus* buildings. Consequently, the representation of the infrastructures consists of the C8 Building alone – since it is the only building modeled inside.

The outside data consists of all the parking lots and roads, green spaces and sidewalks as well as the 3D models of all buildings that represent the Science *Campus*. On the other hand, the inside data consists of the drawings of each floor as well as the existing infrastructures, which in this case correspond to the fire protection elements, the HAVC conducts and water pipes. The data was obtained via different sources like photogrammetric restitution or drawings rasterization. In the case of the outside components, they were obtained by photogrammetric restitution in polygone shape. These data were transformed to multipatch shape through the TIN that was obtained though the Terrain Digital Model. The drawings of each floor, in CAD format, were georeferenced to the buildings footprint and edited to contain all the respective information. Hence, this data was transformed in 3D-data based in the elevation of each one. The first step of the infrastructures process was similar to the buildings drawings above mentioned: each infrastructure was georeferenced to the correspondent floor and then was edited to contain all the information necessary. The final step of this process was the conversion to 3D data based on the elevation of the infrastructure. In order for the data to contain information, a database that allows the introduction of information was designed. This database can be viewed and consulted in the final phase. This process was done by using the geographic information system environment.

The FCUL's Virtual *Campus* was exported to CityEngine Web Viewer with the objective of being consulted by the users. This platform allows the user to access information about any space of the building as well as any infrastructure represented. The Virtual *Campus*'s Web Scene was built with layers that allows the user to access the required information alone.

Key-words: 3D Model; Virtual *Campus*; Geographic Information System; Building Information Model.

Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de Tabelas	x
Lista de Figuras	xi
Lista de Acrónimos e Abreviaturas.....	xiii
Capítulo 1 - Introdução	1
1. Introdução	2
1.1. Objetivos de estudo.....	2
1.2. Motivação.....	3
1.3. Contribuição Científica	4
1.4. Estrutura da Dissertação.....	4
Capítulo 2 – Estado da Arte	5
2. Estado da Arte.....	6
2.1. <i>Smart Cities</i>	6
2.1.1. <i>Smart Campus</i>	7
2.2. Modelos Tridimensionais de Edifícios	9
2.3. <i>Building Information Model</i>	10
2.4. Sistemas de Informação Geográfica	12
Capítulo 3 - Metodologia	14
3. Metodologia.....	15
3.1. Caracterização da Área de Estudo	15
3.2. Faseamento de trabalho (<i>Workflow</i>)	18
3.3. Descrição detalhada da Metodologia	21
3.3.1. Modelo Digital de Terreno	22
3.3.2. Modelação das componentes exteriores do <i>Campus</i>	26
3.3.3. Estruturação e Criação da Base de Dados	27
3.3.3.1. Diagrama de Classes do <i>Campus</i> Virtual da FCUL	28
3.3.4. Modelação do Interior do Edifício C8.....	33
3.3.5. Modelação dos elementos de proteção contra incêndios	34
3.3.6. Modelação das condutas de AVAC	36
3.3.7. Modelação das canalizações de abastecimento de água	37
3.4. Problemas encontrados e sua resolução	39
3.4.1. Dados exteriores em formato Multipatch	39

3.4.2.	Georreferenciação das plantas dos pisos do edifício C8	40
3.4.3.	Visualização dos dados na Web.....	43
Capítulo 4 –	Apresentação e Análise dos Resultados	46
4.	Apresentação e Análise dos Resultados	47
4.1.	Resultados das componentes exteriores do <i>Campus</i>	47
4.2.	Resultados da modelação dos pisos do Edifício C8.....	49
4.3.	Resultados da modelação das infraestruturas	50
4.4.	Disponibilização na Web do <i>Campus</i> Virtual da FCUL.....	52
4.4.1.	Realização de Pesquisas no CityEngine Web Viewer.....	54
Capítulo 5		58
5.	Conclusões gerais.....	59
Referências Bibliográficas		62
Anexos		65
Anexo A1 –	Regra CGA desenvolvida para modelação do exterior do <i>Campus</i> e interior do Edifício C8 em três dimensões.....	66
Anexo A2 –	Regra CGA desenvolvida para aplicação de textura na tubagem de canalização.	67
Anexo A3 –	Regra CGA desenvolvida para extrudir e texturizar as condutas de AVAC.....	68
Anexo A4 –	Regra CGA desenvolvida para aplicação de objeto de geometria implícita do equipamento extintor.....	68
Anexo A5 –	Regra CGA desenvolvida para aplicação de objeto de geometria implícita do equipamento sirene de alarme.	69
Anexo A6 –	Regra CGA desenvolvida para aplicação de objeto de geometria implícita do equipamento detetor de fumo e termovelocimétrico.	69
Anexo A7 –	Regra CGA desenvolvida para aplicação de objeto de geometria implícita do equipamento carretel.	70
Anexo A8 –	Regra CGA desenvolvida para aplicação de objeto de geometria implícita do equipamento botoneira de incêndio.	70

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Unidades de Serviço existentes na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. ...	16
Tabela 3.2 - Departamentos existentes na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.	16
Tabela 3.3 - Lista de dados já existentes usados no presente projeto.	21
Tabela 3.4 - Códigos de designação dos tipos de salas.	33
Tabela 3.5 - Atributos característicos dos pisos e seus tipos.	34
Tabela 3.6 - Elementos de Proteção contra Incêndios.	35
Tabela 3.7 - Atributos do Elemento de Proteção contra Incêndios Extintor.	36
Tabela 3.8 - Elevação atribuída aos equipamentos de proteção contra incêndios em cada piso.	36
Tabela 3.9 – Elevação atribuídas às condutas de AVAC em cada piso do edifício.	37

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Seis exemplos de uma caracterização de Smart City (Fonte: Schneider-Electric. Consultado a 18 de maio de 2016).	7
Figura 2.2 – Rotas de evacuação de um edifício da Universidade de Harvard, no estado de Massachusetts, EUA, em caso de emergência (Fonte: Informed Infrastructure. Consultado a 17 de maio de 2016).	8
Figura 2.3 - <i>Campus</i> Virtual da ESRI, Redlands, Califórnia (Fonte: ESRI. Consultado a 20 de maio de 2016).	8
Figura 2.4 – Recriação do Terramoto de 1755 que destruiu a baixa lisboeta (Fonte: TVI24. Consultado a 21 de maio de 2016).	9
Figura 2.5 - <i>Building Information Model</i> aplicado ao ciclo de vida de um projeto (Fonte: BEXEL Consulting. Consultado a 23 de maio de 2016).	10
Figura 2.6 - Building Information Model de um edifício com representação de infraestruturas (Fonte: MaxiCAD. Consultado a 23 de maio de 2016).	11
Figura 2.7 - Níveis de representação de dados nos Sistemas de Informação Geográfica (Fonte: Indiana Geographic Information Office. Consultado a 26 de maio de 2016).	13
Figura 3.1 - Localização do Campus da FCUL.	15
Figura 3.2 - Gráfico dos alunos inscritos na FCUL no ano de 2015 (Fonte: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa).	17
Figura 3.3 - <i>Campus</i> da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (Fonte: Google Earth).	18
Figura 3.4 – Workflow do Projeto.	20
Figura 3.5 - Modelo Digital de Terreno Original de resolução 1x1m.	22
Figura 3.6 - Modelo Digital de Terreno corrigido de resolução 1x1m.	23
Figura 3.7 - Localização do modelo 3D do edifício C8 face ao MDT inicial.	24
Figura 3.8 - Relação do MDT inicial com a shapefile de pontos com cota.	25
Figura 3.9 - Superfície TIN do terreno no <i>Campus</i> da FCUL.	26
Figura 3.10 - Polígono do jardim do C8 (a) inicial (b) final.	27
Figura 3.11 - Modelo de Dados ESRI (ESRI).	29
Figura 3.12 - Modelo de Dados INSPIRE aplicado ao Edifício (INSPIRE).	30
Figura 3.13 - Modelo de Dados adotado para o <i>Campus</i> Virtual da FCUL.	31
Figura 3.14 - Exemplo da utilização do atributo <i>InteriorSpaceID</i> .	32
Figura 3.15 - Importação dos elementos da canalização no software CityEngine.	38
Figura 3.16 - Tubos representativos da canalização da água quente do piso 1.	38
Figura 3.17 - Incorporação dos modelos 3D da canalização no modelo 3D do <i>Campus</i> .	39
Figura 3.18 - Restituição do exterior em formato <i>polygon</i> sobre o Modelo Digital de terreno.	40
Figura 3.19 - Planimetria do exterior em formato <i>multipatch</i> sobre o Modelo Digital de Terreno.	40
Figura 3.20 - Discrepâncias entre o footprint do Edifício C8 (a rosa) e a planta CAD do piso 2 (a preto).	41
Figura 3.21 - Comparação dos desajustes entre footprint do edifício C8 (a rosa), planta do piso 2 (a azul) e planta topográfica (a preto).	42
Figura 3.22 - Desajustes entre a planta do piso 2 (a preto) e o footprint do edifício do C8 (a rosa) de (a) 0.83m, (b) 1.91m, (c) 0.61m, (d) 0.88m e (e) 3.42m.	42
Figura 3.23 - Estrutura inicial de representação dos dados no CityEngine Web Viewer.	44
Figura 3.24 - Estrutura final de representação dos dados no CityEngine Web Viewer.	45
Figura 4.1 - Componentes exteriores do <i>Campus</i> Virtual.	47
Figura 4.2 - Componentes exteriores do <i>Campus</i> em 3D: Zona Total.	48

Figura 4.3 – Componentes exteriores do <i>Campus</i> em 3D: Zona do edifício C8.	48
Figura 4.4 – Componentes exteriores do <i>Campus</i> em 3D: Zona dos edifícios C1, C2, C3 e C4.....	49
Figura 4.5 - Representação dos seis pisos do edifício C8.	49
Figura 4.6 - Representação dos pisos do Edifício C8 com textura e paredes extrudidas.	50
Figura 4.7 - Representação dos elementos Extintor, Botoneira de Incêndio, Detetor de Fumo e Carretel.	51
Figura 4.8 - Representação dos elementos Sirene de Alarme, Extintor e Botoneira de Alarme.	51
Figura 4.9 - Representação dos elementos Conduta de AVAC e Carretel.	51
Figura 4.10 - Representação final da canalização de abastecimento de água quente (a azul) e água fria + quente (a amarelo) do piso 1.	52
Figura 4.11 - Visualização do <i>Campus</i> Virtual da FCUL no CityEngine Web Viewer.....	53
Figura 4.12 - Visualização do Edifício C8 modelado tridimensionalmente e pelos seus pisos em simultâneo.	53
Figura 4.13 – Pesquisa nº1: Localização do espaço 8.1.66.	54
Figura 4.14 - Pesquisa nº2: Localização do gabinete da Professora Cristina Catita.	54
Figura 4.15 - Pesquisa nº3: Localização das salas ocupadas pelo Departamento de Física no piso 1. ..	55
Figura 4.16 - Pesquisa nº4: Extintores do Tipo ABC.	55
Figura 4.17 - Ilustração dos atributos de um equipamento de proteção contra incêndios: Extintor.	56
Figura 4.18 - Representação dos atributos de uma canalização de abastecimento de água no edifício C8.	57

Lista de Acrónimos e Abreviaturas

AEC – *Arquitetura, Engenharia, Construção*

AVAC – *Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado*

BIM – *Building Information Model*

CAD – *Computer-Aided Design*

CGA – *Computer Generated Architecture*

ESRI – *Environmental Systems Research Institute*

FCUL – *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*

GIAT – *Gabinete de Infraestruturas e Apoio Técnico*

LiDAR – *Light Detection and Raging*

MDT – *Modelo Digital de Terreno*

OMT-G – *Object Modeling Technique for Geographic Applications*

SIG – *Sistemas de Informação Geográfica*

TIN – *Triangular Irregular Network*

UL – *Universidade de Lisboa*

UML – *Unified Modeling Language*

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Objetivos de estudo

1.2. Motivação

1.3. Contribuição científica

1.4. Estrutura da Dissertação

1. Introdução

A utilização de modelos 3D de edifícios em projetos para representação de ideias ou soluções face a um determinado problema tem vindo a ter um aumento significativo, tendo em conta, também, o crescimento das chamadas “novas tecnologias”. A utilização destes modelos em cidades digitais e/ou inteligentes é uma das ideias de utilização, representando nesses modelos uma solução concreta sobre um determinado estudo. Os modelos 3D de cidades inteligentes permitem visualizar toda a informação existente nas mesmas em simultâneo, sem que exista sobreposição de informação. Num modelo 2D, por exemplo, a representação de um edifício pelos seus pisos seria mais dificultada, uma vez que a visualização de um piso iria ocultar informação do piso inferior. Este facto também é aplicado às infraestruturas existentes numa cidade, onde muitas vezes existem sobreposições. Tornar uma cidade inteligente permite possuir uma melhor gestão da mesma, pois existe um maior controlo em todos os setores, como na energia, água ou mesmo nos edifícios que a compõem. Tornar a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa num *Campus* inteligente permite que exista uma plataforma onde esteja reunida toda a informação de natureza geográfica que permita aos funcionários gerirem da melhor forma a informação espacial da *FCUL*, como por exemplo, o estado ou ocupação de um determinado espaço, problemas existentes em infraestruturas ou estudos aplicados a edifícios, como por exemplo, o consumo energético de um determinado piso de um edifício, e aos alunos e visitantes consultarem determinada informação sobre o *Campus*, podendo ser sobre um espaço ou um docente, por exemplo. Para cumprir com o objetivo de o *Campus* da *FCUL* num *Campus* inteligente, é necessário desenvolver um *BIM* (tecnologia de informação que representa toda a informação dos edifícios) para os respetivos edifícios, mostrando informação sobre todas as infraestruturas dos mesmos.

1.1. Objetivos de estudo

O *Campus* Virtual da Faculdade de Ciências foi desenvolvido baseado em objetivos fundamentais para o bom funcionamento do mesmo. O primeiro objetivo passou pela estruturação e elaboração do modelo de dados de base geográfica que suportaria todo o funcionamento do *Campus* virtual. Para a criação do modelo foi necessário identificar todos os utilizadores finais e quais as suas necessidades, de forma a que a estrutura do modelo de dados fosse coerente com as mesmas. Neste projeto foram identificados quatro tipos de utilizadores finais, sendo eles:

- os Funcionários de cada serviço da *FCUL*: têm como objetivo a consulta de diversa informação, a utilização dessa informação para gerir da melhor forma os respetivos serviços e ainda, a possibilidade de editar e atualizar informação em tempo real;
- os Docentes: têm como objetivo a consulta de informação sobre determinados espaços da *FCUL* ou ainda, a localização e informações sobre serviços;
- os Estudantes: têm como objetivo a consulta de informação sobre os docentes ou determinados serviços ou ainda, a localização de determinados espaços, sejam eles gabinetes de docentes ou salas de aula/estudo;
- os Visitantes: têm como objetivo a consulta de informação sobre um determinado serviço ou a localização de um determinado evento a decorrer no *Campus* da *FCUL*.

O segundo objetivo da realização deste *Campus* consistiu na compilação de todos os dados geográficos existentes, seja em formato analógico ou digital, referentes à cartografia 2D, sejam plantas dos pisos dos edifícios ou das infraestruturas neles existentes e ao modelo digital de terreno de todo o *Campus* da *FCUL*. Reunida toda a informação necessária, e depois de tratada, foi construída a base de dados

geográfica, com todos os dados georreferenciados. Criada a base de dados geográfica com todos os dados georreferenciados foi realizada uma compilação de toda a informação alfanumérica para todos os dados representados na base de dados, como por exemplo, dados sobre docentes ou determinados espaços. Este passo constituiu um terceiro objetivo.

O quarto objetivo consistiu na criação do modelo 3D em ambiente *SIG 3D* do *Campus*, tendo por base a base de dados geográfica desenvolvida em 2D. Este modelo foi desenvolvido tendo em conta a cota de todos os elementos existentes, sejam no exterior ou no interior dos edifícios.

Por último, e como quinto objetivo, procedeu-se à exportação do modelo 3D do *Campus* para uma plataforma *Web* onde seja possível consultar e visualizar toda a informação necessária aos diversos utilizadores finais.

1.2.Motivação

Hoje em dia, as Tecnologias de Informação e Comunicação (*TIC*) são muito utilizadas em processos, à partida, morosos ou de resolução contínua. Nestes casos, as *TIC* permitem informatizar todos os processos e tornar as suas resoluções mais automatizadas. A utilização destas tecnologias em processos universitários, permite que os mesmos sejam facilitados. A criação de um *Campus Virtual*, permite aplicar as *TIC* e gerir, consultar e visualizar alguns desses processos de forma interativa, como é o caso da manutenção das infraestruturas ou dos espaços da Faculdade.

A Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (*FCUL*) é composta por oito edifícios e ainda por alguns institutos, uns com edifícios próprios e outros que estão integrados em edifícios já existentes com outros fins. Face à dimensão do *Campus* da *FCUL*, o processo de gestão dos espaços é bastante complexo e, por vezes, não isento de falhas. Um *Campus Virtual* permite visualizar todos os espaços existentes em todos os edifícios da faculdade e determinar quais os que pertencem a um determinado instituto, ou departamento, guardando toda a informação numa base de dados desenvolvida de forma estruturada. Para além da análise que pode ser realizada aos espaços, as infraestruturas também podem ser monitorizadas através de um *Campus Virtual*, uma vez que podem ser modeladas e posteriormente, introduzidas no modelo do *Campus*, com a devida informação armazenada. As infraestruturas consistem, neste caso, nos equipamentos de segurança, equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (*AVAC*), infraestruturas de águas e de águas residuais, equipamentos de iluminação, entre outros. Cada uma destas infraestruturas contém informações precisas, que necessitam de estar devidamente identificadas e atualizadas. Um *Campus Virtual* permite gerir, consultar e visualizar toda a informação referente a uma determinada infraestrutura ou espaço em qualquer localização de uma forma rápida e eficaz. A gestão dos espaços pode passar pelo conhecimento do estado das mesmas, se estão ocupadas durante um determinado dia ou não, ou ainda a que departamento um espaço está atribuído. O conhecimento de qual a data de validade dos extintores do piso 2 de um determinado edifício é uma pesquisa possível sobre uma infraestrutura existente no modelo virtual.

Como tal, a criação de um modelo virtual traz benefícios na gestão de um *Campus* Universitário, armazenando toda a informação existente sobre o mesmo em apenas um local e permitindo visualizá-la e consultá-la, não só por funcionários ou alunos da instituição, mas também por qualquer cidadão que esteja interessado em conhecer ou obter alguma informação sobre o *Campus*, em diversas localizações, obtendo mais facilmente a localização do serviço ou local desejado com maior rapidez e flexibilidade.

1.3. Contribuição Científica

Pela primeira vez, foi pensada a elaboração de um modelo 3D de dados geoespaciais do *Campus* da *FCUL* de forma a disponibilizar informação acerca dos diversos serviços com o intuito de servir os diferentes tipos de necessidades dos utilizadores finais. Foram comparados vários modelos, verificando quais as principais diferenças e de seguida implementado, através de aplicações informáticas, o modelo 3D do *Campus*, com todos os dados geográficos e alguns não-geográficos existentes na comunidade académica e nos serviços de apoio às infraestruturas da *FCUL*. A criação do *BIM* foi desenvolvida no *software CityEngine*, da *ESRI*, sendo que este software não foi usado para a criação de um modelo do interior de um edifício. No entanto, este projeto mostra que é possível desenvolver um *BIM* através de ferramentas *SIG*. Por fim, o modelo 3D do *Campus* Virtual da *FCUL* foi preparado e disponibilizado na *Web* para que todas as partes interessadas o possam aceder e manuseá-lo com um determinado propósito, seja para consultar ou gerir informação.

1.4. Estrutura da Dissertação

Após ser feita uma breve introdução teórica da motivação que originou a criação deste projeto, bem como os seus principais objetivos, contribuições científicas e resultados esperados, este relatório segue com mais cinco capítulos, sendo que no segundo capítulo, são apresentados os fundamentos teóricos subjacentes a alguns conceitos abordados neste trabalho. Este capítulo é dividido em quatro subcapítulos onde são desenvolvidos cada um dos conceitos usados, como as *Smart Cities*, Modelos Tridimensionais de Edifícios, *Building Information Model* e Sistemas de Informação Geográfica. Cada subcapítulo contém informação detalhada sobre o conceito e ainda exemplos que suportam as respetivas teorias.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia que foi adotada neste projeto, bem como os problemas encontrados e suas resoluções. A metodologia é apresentada em duas fases, sendo a primeira o desenvolvimento de um modelo conceptual de base de dados geográficos e a segunda um desenvolvimento mais detalhado relativo à implementação e criação do modelo 3D do *Campus* da *FCUL*. O uso do *workflow* contribui para uma melhor perceção de todas as etapas realizadas ao longo de todo o projeto, visualizando todos os passos, funções usadas e os resultados obtidos no final de cada processo. Os problemas encontrados são explicados detalhadamente, juntamente com o processo de resolução dos mesmos, ou então, com uma explicação de um método alternativo de forma a obter os resultados pretendidos.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos de todas as fases do projeto, algumas explicações necessárias para a compreensão e a exemplificação de alguns tipos de análise que podem ser efetuados sobre o produto gerado. Os resultados apresentados correspondem aos elementos exteriores do *Campus*, ao interior do edifício C8 e às infraestruturas representadas.

No último capítulo, são apresentadas algumas conclusões relativas à realização deste projeto, as vantagens e limitações encontradas. Ainda neste capítulo, são apresentadas propostas para um trabalho futuro, podendo resultar num modelo virtual do *Campus* da *FCUL* mais completo.

Capítulo 2 – Estado da Arte

2.1. *Smart Cities*

2.2. Modelos Tridimensionais de Edifícios

2.3. *Building Information Model*

2.4. Sistemas de Informação Geográfica

2. Estado da Arte

2.1. *Smart Cities*

O conceito de *Smart City* baseia-se essencialmente na utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação para detetar, gerir e resolver problemas de vária natureza existentes numa cidade. De uma forma mais simples, uma *Smart City* é uma cidade apoiada nas *TIC* (Smart Cities Council 2015). A primeira vez em que o termo “*smart city*” foi usado foi nos anos 90 (Albino *et al.* 2015), onde o principal foco consistiu em perceber a relevância das *TIC* nas infraestruturas modernas existentes nas cidades. Um exemplo da mais valia da implementação de uma *Smart City* é o caso apresentado em (Smart Cities Council 2015) do derramamento de águas residuais no rio *St. Joseph* em *South Bend*, no estado do Indiana, *EUA*, em que foram apresentadas duas propostas de resolução: a primeira proposta, com um orçamento de 120 milhões de dólares, consistia em aumentar a capacidade de armazenamento das águas residuais da cidade; a segunda consistia em implementar válvulas e sensores de modo a controlar e monitorizar o sistema de águas residuais eletronicamente. Esta última proposta, por sua vez, teve um orçamento de apenas 6 milhões de dólares. Uma vez aplicada a segunda proposta, a cidade passou a utilizar controlos e instrumentos inteligentes na gestão do problema, superando assim o desperdício de água. Ao longo dos anos, o conceito *Smart City* passou por diferentes definições (Caragliu *et al.* 2009), estando a maior parte dessas definições ligadas ao papel das infraestruturas de comunicação. No entanto, o Centro de Ciência Regional da Universidade Tecnológica de Viena, Áustria, desenvolveu um projeto baseado em 70 países europeus, onde identifica seis dimensões principais, que classificam uma cidade como inteligente, sendo elas *smart economy*, *smart mobility*, *smart environment*, *smart people*, *smart living* e *smart governance* (Caragliu *et al.* 2009). Em particular, estas dimensões medem as cidades em termos de competitividade regional, recursos naturais, capital humano e social, qualidade de vida, participação das sociedades nas cidades, economia e transportes. Uma vez que a população nos grandes centros urbanos cresce substancialmente, também crescem os problemas a eles associadas, como dificuldades na gestão dos resíduos ou a escassez de recursos. Juntando a estes problemas físicos, existem ainda os de carácter social. Face a estes problemas, existe a necessidade de procurar soluções inteligentes para a resolução dos mesmos de um modo efetivo e tendo em consideração a globalidade de fatores que intervêm numa área urbana. As cidades que procuram e que, atualmente, recorrem a este tipo de soluções, são designadas por *Smart Cities* (Chourabi *et al.* 2012). Uma *Smart City* poderá ter diversos níveis de inteligência pelos quais é caracterizada, significando que, a esse nível existe uma estrutura de recolha (automática) de dados que permitem a modelação de comportamentos (físicos ou sociais) e a consequente gestão de situações evitando, atenuando ou resolvendo eventos críticos. Na Figura 2.1 estão exemplificados diferentes tipos de caracterização de uma *Smart City*, por exemplo ao nível da energia, da água, da mobilidade dos serviços públicos ou dos edifícios (*Smart Buildings*).



Figura 2.1 - Seis exemplos de uma caracterização de Smart City (Fonte: Schneider-Electric. Consultado a 18 de maio de 2016).

Os *Smart Buildings*, edifícios inteligentes, que são casos menos generalistas de uma *Smart City*, têm tido um grande crescimento na indústria da construção, uma vez que permitem tanto o conforto como a poupança em energia (Zhang *et al.* 2013). Um edifício inteligente com operações automáticas está capaz, juntamente com o desenvolvimento da tecnologia, de controlar o aquecimento e iluminação tendo em conta a presença de alguém nesse espaço. Para que um edifício seja chamado de inteligente, controlando remotamente alguns sistemas do mesmo, é necessário que seja desenvolvido um *BIM*, pois este é a estrutura geoespacial e semântica (com atributos) que permite que se construa um *Smart Building*. O conceito de *Smart Building* é aplicado, mais frequentemente, a edifícios habitacionais (Zhang *et al.* 2013), onde os conceitos de redução de custos energéticos, conforto e segurança são beneficiados pelos utilizadores.

2.1.1. *Smart Campus*

O conceito de *Smart Building* é hoje em dia usado para caracterizar diversos edifícios urbanos, sendo uma Universidade composta por muitos edifícios. A transformação do espaço ocupado por uma Universidade num *Campus* Universitário Inteligente (*Smart Campus*), tem como objetivo melhorar a gestão de determinados processos e acrescentar melhorias de eficiência em diversos sectores, através da aplicação das *TIC* aos espaços e edifícios que o compõem. Analogamente às *Smart Cities*, o *Smart Campus* pretende gerir, evitar e resolver problemas tanto no exterior, como no interior dos edifícios, com o objetivo de melhorar os processos e a gestão dos recursos existentes na mesma e, permitindo ainda poder mostrar soluções e/ou respostas a todas as partes interessadas. O desenvolvimento de um *smart Campus* pode direccionar-se para diferentes objetivos. O melhoramento da eficiência energética de uma universidade é uma das suas possíveis aplicações (De Angelis *et al.* 2015). Por outro lado, também uma pesquisa da localização do gabinete pelo nome de um determinado professor ou da rota de evacuação de emergência a partir de uma determinada localização num edifício (Figura 2.2) são respostas que um *Smart Campus* pode fornecer a um utilizador. Para além deste exemplo, um *smart Campus* permite gerir e controlar todas as árvores em redor do *Campus*, redes de águas e de resíduos, infraestruturas de proteção contra incêndios, tais como hidrantes localizados no exterior do *Campus* ou infraestruturas atribuídas a ciclistas (ESRI 2016).

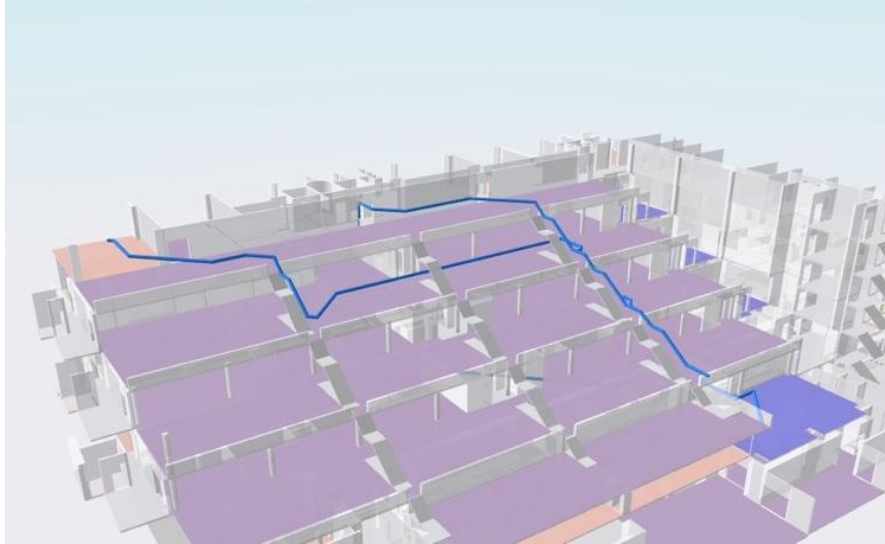


Figura 2.2 – Rotas de evacuação de um edifício da Universidade de Harvard, no estado de Massachusetts, EUA, em caso de emergência (Fonte: Informed Infrastructure. Consultado a 17 de maio de 2016).

A Figura 2.2 ilustra um edifício modelado em 3D com duas rotas de evacuação a azul representadas exemplificando a resposta a uma pesquisa efetuada sobre um edifício inteligente. A base gráfica de um edifício inteligente é constituída geralmente por um modelo 3D do edifício.

Um *Campus Virtual* consiste na representação de todo o espaço universitário modelado em 3D, onde é possível visualizar tanto o exterior envolvente dos edifícios como o interior dos mesmos (Figura 2.3) incluindo ainda toda a informação semântica (atributos) associada a cada espaço, cada edifício, cada rede de infraestrutura e cada objeto modelado. A criação de um *Smart Campus* tem como base um *Campus* virtual, permitindo gerar e ilustrar os resultados pesquisados em 3D (Ball 2016) mostra uma das soluções da utilização de um *Campus* virtual inteligente. Tendo informação sobre os trajetos de evacuação de emergência a percorrer em cada edifício, é possível mostrar os mesmos virtualmente, sendo o resultado perceptível e intuitivo. Nem todos os *Campus* virtuais são desenvolvidos para serem “inteligentes”, mas sim, para facilitarem a interação dos alunos entre si, ou com os professores, podendo assistir a aulas de uma forma virtual ou saber a localização de uma determinada pessoa através do seu avatar (Sourin 2004).



Figura 2.3 - *Campus Virtual* da ESRI, Redlands, Califórnia (Fonte: ESRI. Consultado a 20 de maio de 2016).

Na Figura 2.3 estão representadas duas formas do mesmo edifício. A função “*sweep*” permite visualizar a mesma zona de duas formas diferentes, sendo que neste caso a visualização do edifício pode ser efetuada com paredes exteriores (à esquerda) ou sem paredes exteriores (à direita).

2.2. Modelos Tridimensionais de Edifícios

Os modelos tridimensionais de edifícios têm vindo a ser crescentemente utilizados nos últimos tempos, tanto por projetistas como pela indústria de telecomunicações, uma vez que são utilizados tanto para análise de propagação de ruído como da poluição do ar nas grandes cidades, bem como para estimação do imposto imobiliário (Vosselman & Dijkman 2001). Os primeiros modelos 3D a serem desenvolvidos, através de reconhecimento e reconstruções automáticas, realizaram-se nos anos 90 (Gimenez *et al* 2015), onde os mesmos serviriam para representar edifícios já existentes. Atualmente, os modelos 3D de edifícios são desenvolvidos tanto para reconstruções de edifícios já existentes, quanto para representar novos projetos, sendo que estes modelos 3D podem ser aplicados a uma cidade, inteira ou parcial, ou podem ser criados individualmente. Os modelos individuais de edifícios que são realizados para reconstruções, podem ser motivados pelo facto de os mesmos já não existirem ou por estarem degradados. Existem vários métodos de aquisição de dados para modelar um edifício em três dimensões, sendo possível criar modelos 3D de edifícios a partir de projetos de arquitetura, gerando uma perceção mais intuitiva do objeto a ser criado (Yin *et al.* 2009), ou então de dados adquiridos por topografia, fotogrametria terrestre, laser scanner terrestre (fixo e móvel), fotogrametria aérea vertical e oblíqua e *LiDAR (Light Detection and Raging)* aéreo (Redweik 2013).

Os jogos para computadores e consolas são um dos grandes impulsionadores do 3D, uma vez que permitem ao jogador uma maior compreensão do espaço (Pereira 2012), o que facilita a interação com todos os objetos espaciais existentes. Hoje em dia, é relativamente simples de visualizar uma cidade em 3D. Através da aplicação *Google Earth*, muito disseminada, é possível visualizar a maioria das cidades em 3D a nível dos edifícios. No entanto, não é possível realizar pesquisas ou navegar no interior dos mesmos, pois estão apenas desenvolvidos para visualização. Nem todos os modelos 3D de edifícios são criados com o objetivo de serem explorados, mas sim, para contribuírem para uma melhor perceção de outros aspetos de interesse, como no caso da recriação virtual do terramoto e tsunami que atingiu a cidade de Lisboa, por consequência de um sismo ocorrido no mar, em 1755. A Figura 2.4 ilustra a catástrofe que abalou a cidade, onde todos os edifícios estão modelados em 3D, de forma a obter uma imagem mais clara e perceptível do impacto deste fenómeno natural.



Figura 2.4 – Recriação do Terramoto de 1755 que destruiu a baixa lisboeta (Fonte: TVI24. Consultado a 21 de maio de 2016).

2.3. Building Information Model

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (*AEC*) é o sector da indústria de construção que fornece serviços em projetos de arquitetura e engenharia, mas também serviços de construção. A indústria *AEC* é um sector que é muito ativo na adoção das tecnologias *TIC* e que tem procurado novas técnicas para diminuir custos de projetos, aumentar a qualidade e produtividade e reduzir o tempo de entrega de projetos (Azhar 2011), muito devido ao facto de estarem ligados a um antigo paradigma (Yang & Wang 2009), que consistia na partilha de informação através de diferentes ambientes, impedindo a importação de nova informação numa fase prévia dos projetos. O aparecimento do *Building Information Model* permite alcançar os objetivos desejados da indústria *AEC* (Azhar 2011). *Building Information Model* pode ser descrito como uma representação fiável, digital, tridimensional e virtual de projetos a serem construídos para uso em tomadas de decisão de projetos, agendamento e planeamento de construções, estimativas de custos e manutenção de projetos de construção (Rokooei 2015). *BIM* é um conceito que envolve as tecnologias de informação na aplicação e manutenção de uma representação digital integral de toda a informação dos edifícios nas diferentes fases do ciclo de vida do projeto (Figura 2.5) sob a forma de um repositório de dados (Gu & London 2010), sendo que não existe um padrão concreto sobre o tipo de informação que este modelo guarda (Gimenez 2015). O *BIM* baseia-se num modelo 3D que é composto por três componentes (Guimenez 2015):

- ✓ Geometria – define a forma e dimensões;
- ✓ Topologia – define os espaços e seus relacionamentos;
- ✓ Semântica – descreve características adicionais com atributos próprios, como por exemplo, funções de divisões;

Um *BIM* só se caracteriza como completo e válido se estas três componentes estiverem bem definidas.



Figura 2.5 - *Building Information Model* aplicado ao ciclo de vida de um projeto (Fonte: BEXEL Consulting. Consultado a 23 de maio de 2016).

A adoção do *BIM* é particularmente benéfica para o projeto, planeamento, otimização e manutenção das instalações na indústria (Gourlis & Kovacic 2016), uma vez que é necessário interligar os vários sistemas existentes, tais como componentes estruturais ou redes de *AVAC*. Assim, é possível modelar todas as

infraestruturas existentes num edifício e visualizá-las em simultâneo (Figura 2.6). O *Building Information Model* permite, para além de representar as infraestruturas, realizar estudos referentes ao projeto em si (Nasyrov *et al.* 2014), sendo os estudos sobre eficiência energética de edifícios um exemplo. Segundo Schlueter e Thesseling (2009), para que seja possível considerar o desempenho de um edifício em todas as fases iniciais do projeto, é necessário ter acesso a todas as informações que definem um edifício, como a sua forma, materialização e sistemas técnicos. Esta informação não é suportada pelo planeamento base em formato *CAD*.

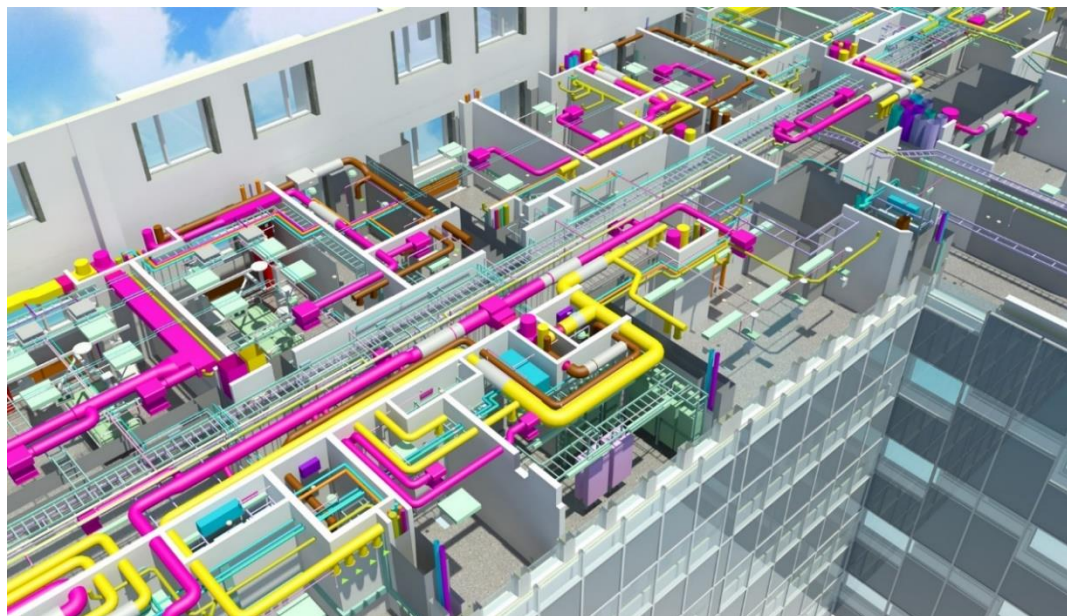


Figura 2.6 - Building Information Model de um edifício com representação de infraestruturas (Fonte: MaxiCAD. Consultado a 23 de maio de 2016).

Segundo Azhar (2011), existem oito tipos diferentes de aplicações do *BIM*, que vão desde a visualização 3D do modelo até à manutenção das instalações, passando por análises forenses, com o objetivo de ilustrar potenciais falhas, mas também planos de evacuação. Uma das mais importantes aplicações do *Building Information Model* ocorreu no projeto de construção do maior hospital na cidade de Moss, Noruega (Merschbrock & Munkvold 2014). O resultado obtido, através da colaboração de todas as partes envolvidas neste projeto, resultou num modelo virtual altamente detalhado de todas as componentes dos edifícios, incluindo as instalações elétricas.

Um segundo caso de estudo foi realizado para avaliar as potencialidades do *BIM* no desenvolvimento e otimização energética de instalações industriais, sendo dividido em dois casos distintos. Num primeiro caso, o estudo foi aplicado a um edifício já existente, realizando o modelo *BIM* através de toda a informação existente, e o segundo sobre uma nova construção industrial, possuindo uma arquitetura pré-modelada. Em ambos os estudos, o objetivo era estudar as zonas térmicas das instalações e com elas estudar as variações climáticas existentes. No entanto, a passagem de um modelo *BIM* para um *software* de análise energética necessita de alguma edição, devido ao facto dos modelos arquitetónicos serem simplificados. Estas alterações foram necessárias no segundo caso de estudo, onde já existia um modelo pré-realizado, ou seja, uma vez que não foi realizado de raiz como no primeiro caso (Gourlis & Kovacic 2016).

Atualmente, existem estudos que visam a integração de dados *BIM* em aplicações *SIG* (Van Berlo & De Laar 2011), não se tratando, por sua vez, de uma verdadeira integração, mas sim, apenas de integrar dados num modelo noutra formato. A utilização dos *SIG* permite visualizar modelos em 3D, realizar

uma gestão de ativos e instalações, como um modelo *BIM*, e ainda realizar pesquisas sobre essas mesmas instalações (Harris 2015).

2.4. Sistemas de Informação Geográfica

Um Sistema de Informação Geográfica (*SIG*) consiste num sistema computacional que nos permite visualizar, analisar, questionar e interpretar dados para perceber relações, padrões ou tendências dos mesmos. O terreno e todos os elementos nele existentes podem ser representados em simultâneo, sem que exista uma sobreposição de informação, ou seja, é possível visualizar dados pontuais em simultâneo com dados de superfícies contínuas (*raster*) (Figura 2.7). Estes sistemas permitem trabalhar com dois tipos de dados, espaciais e não-espaciais (Wu *et al.* 2009), podendo-se visualizar no mapa dados com localizações espaciais e relacioná-los com dados também espaciais ou então, com dados não-espaciais, sendo estes criados em tabelas específicas. O uso dos *SIG* em projetos, ou mesmo em empresas, permite aos seus utilizadores diminuir custos e aumentarem a sua eficiência, bem como, no apoio a uma melhor decisão na localização de um determinado projeto, conjugando diversas variáveis. No entanto, para que todos os dados estejam devidamente guardados e organizados, é necessário criar uma base de dados onde seja possível armazenar dados espaciais e não-espaciais.

As bases de dados são coleções de conjuntos de dados, geralmente de grande volume, que possibilitam a interligação entre os diversos atributos dos mesmos¹. No entanto, se necessitarmos de armazenar dados espaciais, é necessário que a base de dados criada seja uma base de dados espacial, designada por *geodatabase*. Estas bases de dados têm a possibilidade de serem acedidas através do *software* onde são criadas e/ou através de outros sistemas, como é o caso das *geodatabases* da *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*, onde não só é possível manipular os dados em ambiente *ArcGis*, como também é possível fazê-lo em *Microsoft Access* (Wu *et al.* 2009). Estas bases de dados, para além de armazenarem dados, contêm uma linguagem de consulta aos dados (Breunig & Zlatanova 2011), sendo assim possível responder a determinadas questões ou consultas (*queries*), cujas respostas se encontram nos dados. Segundo Breunig & Zlatanova (2009), alguns sistemas de manutenção de bases de dados gratuitas começaram a oferecer um suporte geográfico, de forma a concatenar dados espaciais com não-espaciais, sendo que alguns destes sistemas, como o *PostgreSQL* e o *MySQL* (Breunig & Zlatanova 2009), criaram extensões espaciais, com o objetivo de melhorar o desempenho do armazenamento e das pesquisas.

¹ Santhana Joyce, M & Nirmalrani, V 2015, 'Privacy in horizontally distributed databases based on association rules', *International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, Noorul Islam Centre For Higher Education, Kanyakumari, Tamil Nadu, Índia, pp. 1-6.

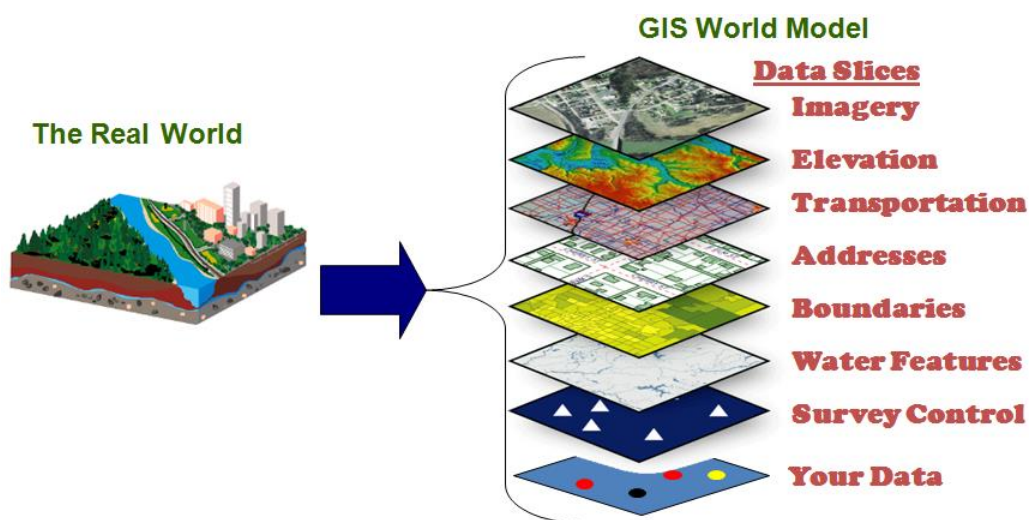


Figura 2.7 - Níveis de representação de dados nos Sistemas de Informação Geográfica (Fonte: Indiana Geographic Information Office. Consultado a 26 de maio de 2016).

A importância dos *SIG 3D*, comparativamente com os *SIG 2D*, baseia-se na facilidade de representar determinados dados ou informações, onde as três dimensões podem ser a chave para um bom sucesso. Nas avaliações imobiliárias (Zhang *et al.* 2014) são utilizados *SIG 3D* para representar fatores como a altura, luz ou sombras do imobiliário, tornando os *SIG 3D* uma mais valia face ao *SIG* tradicional *2D*. Hoje em dia, para além de avaliações imobiliárias, de modo geral, os *SIG 3D* são usados para arquitetura, planeamento urbano, cartografia ou mesmo proteção ambiental, entre outras (Wieczorek & Sobieraj 2013), uma vez que esta tecnologia permite transitar de mapas em papel para mapas virtuais e construir modelos *3D* do mundo real. Estes modelos permitem realizar simulações de processos ou eventos de diferentes tipos. Apesar dos *SIG 3D* trazerem vantagens em relação a visualizações reais de cidades ou mesmo só de edifícios, esta tecnologia é complexa o que a torna difícil de utilizar, sendo usada muitas vezes apenas para modelações de simulações urbanas (Zhang *et al.* 2014). As bases de dados espaciais são muito importantes com o grande aumento da utilização de informação *3D* (Mumtaz 2008), caso seja necessário armazenar modelos *3D* com outro tipo de informação complementar, sendo que existe um aumento de atualizações de bases de dados *2D* para bases de dados *3D* em muitos setores (Wieczorek & Sobieraj 2013). Uma base de dados espaciais *3D* consiste em caracterizar dados geográficos e atributos de objetos que estão localizados num sistema de gestão de base de dados relacional (Mumtaz 2008), onde é possível consultar toda a informação referente aos modelos *3D* inseridos na mesma. A criação de uma base de dados espaciais *3D* permite visualizar vários dados nela contidos mas de diferentes perspetivas (Baratin *et al.* 2015), tendo em conta a morfologia dos modelos *3D* existentes.

O *CityEngine* (ESRI) é um software de *SIG 3D* orientado para a representação de grandes/pequenas cidades e não para o interior de edifícios ou para as infraestruturas existentes numa cidade/edifício, tais como canalização, redes de iluminação, condutas de *AVAC*, equipamentos de proteção contra incêndios, etc. A escolha do software *CityEngine* para a criação do Campus Virtual da FCUL baseou-se no conhecimento adquirido ao longo de meio ano. O desenvolvimento de um Campus virtual era um projeto pensado para a FCUL e, com o suporte da ESRI Portugal, foi possível criar um Campus baseado nos *SIG*. A utilização do software *CityEngine* neste projeto constituiu um grande desafio, pois houve necessidade de pesquisar e desenvolver novos métodos para modelar, tanto o interior como as infraestruturas.

Capítulo 3 - Metodologia

- 3.1. Caracterização da Área de Estudo
- 3.2. Faseamento do trabalho (*Workflow*)
- 3.3. Descrição detalhada da Metodologia
- 3.4. Problemas encontrados e sua resolução

3. Metodologia

3.1. Caracterização da Área de Estudo

O presente trabalho tem como objeto o *Campus* da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (*FCUL*), localizado no Campo Grande, no centro da capital portuguesa, Lisboa. A Faculdade de Ciências da *UL* foi criada no dia 19 de abril do ano de 1911 e estava sediada nas instalações do atual Museu Nacional de História Natural e da Ciência na Rua da Escola Politécnica. No ano de 1985, ocorreu a transferência para as novas instalações da Faculdade, localizadas no Campo Grande. O *Campus* da *FCUL* no Campo Grande é composto por 11 edifícios, sendo que três deles correspondem ao *IBEB* – Instituto de Biofísica e Engenharia Biomédica, *MARE* – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente e *TEC Labs* – Centro de Inovação. Os restantes edifícios correspondem aos edifícios *C1*, *C2*, *C3*, *C4*, *C5*, *C6*, *C7* e *C8*, onde estão localizados todos os serviços e departamentos que constituem a faculdade (Figura 3.1).

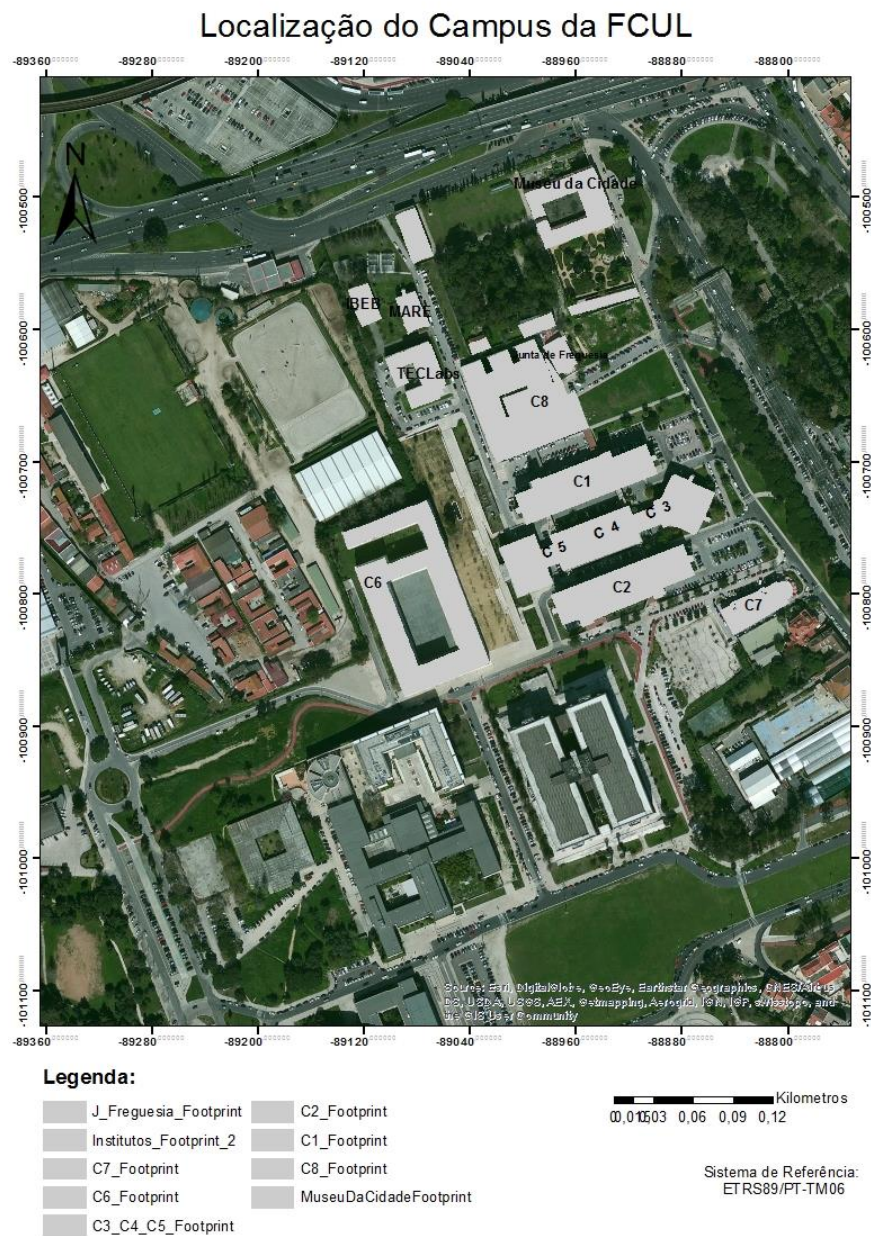


Figura 3.1 - Localização do Campus da FCUL.

A *FCUL* é composta por 12 Unidades de Serviços (Tabela 3.1), que correspondem a estruturas de apoio logístico, técnico e administrativo e que apoiam o desempenho das funções e de todos os objetivos a que a Faculdade se propõe, e por 10 departamentos (Tabela 3.2), onde estão baseados todos os cursos que a *FCUL* oferece. Para além destes, ainda existem outros serviços que estão alocados na Faculdade e que desempenham as devidas funções, como é o caso da Unidade de Informática, da Associação de Trabalhadores e da Associação de Estudantes.

Tabela 3.1 - Unidades de Serviço existentes na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Unidades de Serviços
Área de Comunicação e Imagem
Área de Documentação e Arquivo (Biblioteca)
Área de Estudos, Planeamento e Qualidade
Área de Mobilidade e Apoio ao Aluno
Área de Serviços Técnicos
Direção Académica
Direção de I&D
Direção de Recursos Humanos
Direção de Serviços Informáticos
Direção Financeira e Patrimonial
Gabinete de Cooperação e Relações Externas
Gabinete Jurídico

Tabela 3.2 - Departamentos existentes na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Departamentos
Biologia Animal
Biologia Vegetal
Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia
Estatística e Investigação Operacional
Física
Geologia
História e Filosofia das Ciências
Informática
Matemática
Química e Bioquímica

Para que todos estes serviços funcionem sem qualquer problema ou complicação, a Faculdade de Ciências possui um determinado número de recursos humanos qualificados, com o principal objetivo de fornecerem as melhores condições e os melhores serviços a todas as pessoas que usufruam das instalações, não só aos alunos que estudam na mesma, mas também a qualquer pessoa que pretenda visitar/visualizar algo no *Campus*.

Os recursos humanos estão divididos em quatro categorias:

- Docentes
- Não-Docentes
- Investigadores
- Alunos

Os recursos humanos existentes no ano de 2015, contabilizavam 397 docentes, 155 não-docentes e 67 investigadores, existindo um total de 619 pessoas. Em relação ao número de alunos, a Faculdade de Ciências da *UL* tem como inscritos, no ano de 2015, 5159 alunos (Figura 3.2), dos quais:

- 62% correspondem ao 1º ciclo
- 18% correspondem ao 2º Ciclo
- 13% correspondem a Mestrado Integrado
- 7% correspondem ao 3º Ciclo

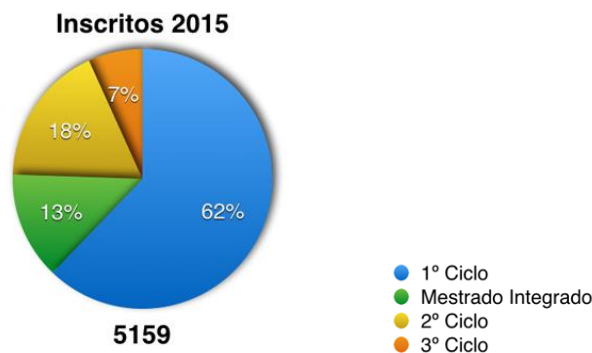


Figura 3.2 - Gráfico dos alunos inscritos na FCUL no ano de 2015 (Fonte: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa).

Para além destes dados, o *Campus* da FCUL é composto por uma vasta rede de infraestruturas, como as instalações elétricas e hidráulicas. As instalações hidráulicas são compostas por canalizações de água fria, quente e quente + fria, bem como os esgotos, localizados na zona exterior do *Campus* e no interior dos edifícios. As instalações elétricas são constituídas por um maior número de elementos, tais como Antenas de Rádio e Televisão, Circuitos Aeráulicos, que constituem todas as estruturas de suporte às condutas de AVAC, bem como as próprias condutas, redes de Condutores Gerais de Proteção contra Descargas Atmosféricas, redes de Iluminação, tanto no interior como no exterior dos edifícios, redes de Proteção contra Incêndios, redes de Proteção contra Intrusão, redes de Informática e Telefones, Equipamentos de Segurança contra Incêndios, tanto no interior como no exterior dos edifícios e ainda, uma rede de Tomadas Elétricas. Muitos destes elementos estão localizados apenas no interior dos edifícios, sendo que percorrem todos os pisos dos respetivos edifícios. O controlo destas infraestruturas tem que ser rigoroso, dada as dimensões das mesmas.

Face a estes dados, a gestão de todos os departamentos e serviços é bastante complexa, tanto na manutenção de todas as infraestruturas, bem como na gestão e manutenção de todos os espaços existentes. No presente projeto, a área de estudo restringe-se apenas ao edifício *C8*, onde é realizada a modelação de todas as divisões e de algumas infraestruturas. Apesar da modelação efetuada corresponder ao interior de um edifício e de algumas infraestruturas, como já foi referido, o exterior do *Campus* é modelado na sua totalidade, ou seja, além da modelação 3D do edifício *C8*, são também modelados todo o exterior dos restantes edifícios, bem como os arruamentos e estacionamento, áreas verdes e passeios.

O edifício C8 é composto por seis pisos, sendo que a partir do quarto são formados dois blocos, um a sul e outro a norte, sem acesso entre eles. O interior do edifício é composto por salas de aula, gabinetes de docentes, laboratórios de investigação, salas de estudo e de investigação, bibliotecas e um bar. No seu exterior, o edifício C8 é desenvolvido em torno de um pátio interior, designado de Tabela Periódica, pois está representado no chão do mesmo uma tabela periódica. A forma do edifício C8 é aproximadamente cúbica e a sua construção é toda em betão, sendo que as suas fachadas surgem revestidas por painéis denteados, que favorecem o ensombramento das superfícies verticais, assim como das janelas (Câmara Municipal de Lisboa 2016). O exterior envolvente ao edifício C8, como podemos observar pela Figura 3.3, é composto por estacionamento e arruamentos, tanto no interior do *Campus* como fora e por um grande relvado localizado em frente à entrada para o pátio descrito anteriormente. O terreno localizado em torno do edifício, para além de ser um pouco acidentado, contém algum arvoredo, especialmente no lado norte do edifício, localizado no espaço pertencente ao Museu da Cidade.



Figura 3.3 - *Campus* da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (Fonte: Google Earth).

3.2.Faseamento de trabalho (*Workflow*)

Um *workflow* é utilizado para ilustrar o fluxo de operações realizadas ao longo de todo o projeto, detalhando algumas das operações efetuadas em cada passo. A Figura 3.4 representa o *workflow* do presente projeto, onde são apresentadas todas as etapas realizadas durante o mesmo. As etapas mais relevantes, que dão origem aos produtos finais, estão representadas no esquema, com as devidas ligações.

Com a cor azul, estão representados os processos referentes à criação do Modelo Digital de Terreno (*MDT*), o qual passa primeiramente pela correção das cotas do modelo e só depois, a criação de um novo modelo. Com cor vermelha, estão representados os processos para a modelação do exterior do *Campus*. A modelação tem início em ficheiros *CAD* (formato *AutoCAD*), obtidos por estereorrestituição fotogramétrica, e são finalizados criando um modelo *multipatch*, usando o *TIN* criado no processo anterior.

Os processos representados com cor amarela e laranja correspondem à modelação dos Elementos de Proteção contra Incêndios e às Condutas de *AVAC*, respetivamente. Estes dois processos são idênticos entre si, diferenciando-se apenas no tipo de geometria dos dados de entrada. No primeiro caso, os dados estavam numa estrutura vetorial de *polyline*, pelo que houve necessidade de transformá-los numa estrutura *point*. No segundo caso, os dados estavam também, numa estrutura *polyline*, pelo que houve necessidade de transformá-los para o formato *polygon*. No final, ambos os modelos são gerados em 3D,

sendo que o primeiro é por inclusão de objetos de geometria implícita e o segundo por uma extrusão e texturização.

Os processos representados pela cor verde correspondem à modelação dos pisos do edifício C8, passando de plantas 2D para modelos 3D das mesmas, com a devida altura das paredes e pilares. Os modelos dos pisos, bem como das Conduitas de AVAC e os Elementos de Proteção contra Incêndios, contêm atributos próprios, devidamente introduzidos durante a criação dos mesmos, que podem ser visualizados no Subcapítulo 3.3 – Descrição detalhada da Metodologia.

Por fim, os processos representados pela cor roxa correspondem à modelação da canalização de abastecimento de água do edifício. O processo de modelação desta infraestrutura apenas é semelhante aos das restantes na georreferenciação dos elementos. Uma vez que os dados já estavam na estrutura adequado, em *polyline*, foi apenas necessário proceder à extração das linhas que correspondiam às canalizações. Uma vez que existem três tipos de canalização (**água quente, água fria e água fria + quente**), foi criado um atributo em cada elemento que indicasse o tipo de canalização. A modelação destes elementos em 3D foi realizada com uma diferente abordagem das outras infraestruturas, sendo que neste caso foram usadas ferramentas SIG, mais precisamente, a ferramenta **Buffer 3D**. Esta ferramenta cria um polígono 3D, de secção circular, em torno das linhas que representam as canalizações, criando assim um tubo de secção circular, representativo das canalizações.

Workflow do Projeto

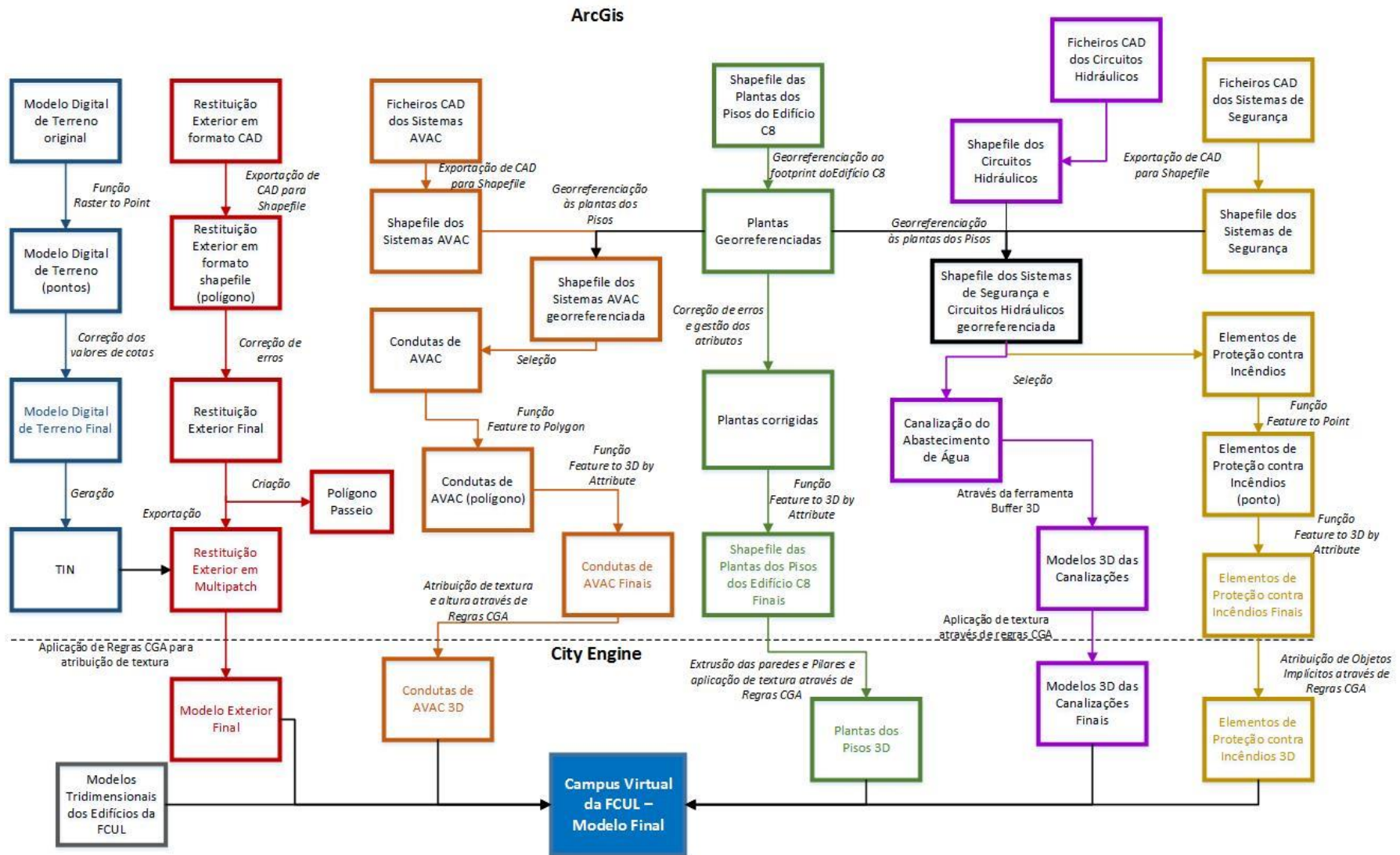


Figura 3.4 – Workflow do Projeto.

3.3. Descrição detalhada da Metodologia

A metodologia adotada para a elaboração deste projeto foi pensada tendo em conta todos os elementos existentes, de forma a perceber a dependência de uns face a outros. Para tal, houve necessidade de se estabelecer uma ordem de processos, para que a criação do modelo fosse sequencial, sem existir necessidade de deixar processos pendentes. Posto isto, o primeiro processo realizado correspondeu à geração do *MDT*. Tendo o *MDT* devidamente criado, procedeu-se ao tratamento dos dados referentes ao exterior do *Campus*, dada a sua dependência com o mesmo. Antes de se iniciar o processo de modelação de interiores, construiu-se uma base de dados, devidamente estruturada, de forma a armazenar e organizar todos os dados necessários à gestão do *Campus Virtual*. A base de dados foi criada tendo por base um modelo conceptual devidamente desenvolvido para este projeto. Este modelo conceptual foi desenvolvido através da adaptação do modelo da *ESRI* para infraestruturas, alterando algumas entidades e ligações e acrescentando outras de forma a adaptá-lo ao presente projeto. Esta base de dados foi criada em ambiente *ArcGis*, sendo, portanto, designada de base de dados geográfica (*geodatabase*), pois permite armazenar dados geográficos num determinado local para um acesso e gestão facilitado (ESRI 2016). Estando a base de dados estruturada, procede-se à modelação do interior do edifício *C8* e das infraestruturas designadas anteriormente.

Para a realização deste projeto foi necessário reunir toda a informação já existente relacionada com o mesmo, de forma a não ser preciso realizar trabalho repetido, mas sim, aproveitar todos os dados já existentes. Na Tabela 3.3 são apresentados todos os dados que já existiam, bem como alguma informação referente aos mesmos.

Tabela 3.3 - Lista de dados já existentes usados no presente projeto.

Dados	Metadados	
Modelo Digital de Terreno	<i>MDT</i> original cedido pela empresa Logica e respeitam ao ano de 2006; <i>MDT</i> criado a partir de dados <i>LiDAR</i> ; Resolução do <i>MDT</i> : 1x1m Sistema de Referência: <i>ETRS89/PT – TM06</i>	
Cartografia 2D do exterior	Dados do exterior do <i>Campus</i> obtidos por estereorrestituição fotogramétrica, em formato <i>CAD</i>	
Modelo 3D dos Edifícios	Os modelos 3D dos edifícios representam apenas o exterior dos mesmos, devidamente georreferenciados, no formato <i>COLLADA</i>	
Informação CAD	Plantas dos pisos do edifício <i>C8</i>	Dados fornecidos pelos serviços técnicos; Ficheiros em formato <i>CAD</i> com uma escala de 1/100
	Dados de proteção contra incêndios	
	Dados das condutas de <i>AVAC</i>	

Em relação aos dados referentes ao Modelo Digital de Terreno e aos Modelos 3D dos Edifícios não foi necessário proceder a nenhuma operação de transformação dos dados uma vez que já se encontravam no formato adequado, ou seja, formato *ArcGis*. Em relação aos dados da Cartografia 2D do exterior e à informação *CAD* dos dados de proteção contra incêndios e das condutas de *AVAC*, houve necessidade de transformar os dados em relação aos seus formatos iniciais. Uma vez que estes estavam no formato

AutoCAD, procedeu-se a uma operação de transformação simples, tornando-os em formato *ArcGis*. Os dados referentes às plantas dos pisos do edifício C8, apesar de já estarem no formato *ArcGis*, encontravam-se no sistema de referência *Datum* Lisboa. Para tal, recorreu-se a um processo de transformação de sistemas de referência, transformando os dados do sistema de referência *Datum* Lisboa para o sistema de referência *ETRS89/PT – TM06* no *software ArcGis*, utilizando o método de grelhas (Gonçalves 2009).

3.3.1. Modelo Digital de Terreno

Para que todos os arruamentos e estacionamento, zonas verdes e passeios estivessem devidamente cotados, ou seja, que possuíssem a cota correta do terreno, foi necessário criar um Modelo Digital de Terreno com uma exatidão compatível com o nível de detalhe exigido para um projeto desta natureza. Através deste *MDT* (Figura 3.6), é possível criar modelos das componentes exteriores com as cotas mais rigorosas. O *MDT* final foi criado a partir de um *MDT* gerado através de uma nuvem de pontos *LiDAR* com resolução do pixel de $1 \times 1m$ (Figura 3.5). Este *MDT* foi obtido através de *LiDAR* aéreo e cobre todas as zonas do *Campus* e adjacentes, tendo sido apenas seleccionada a zona de interesse.

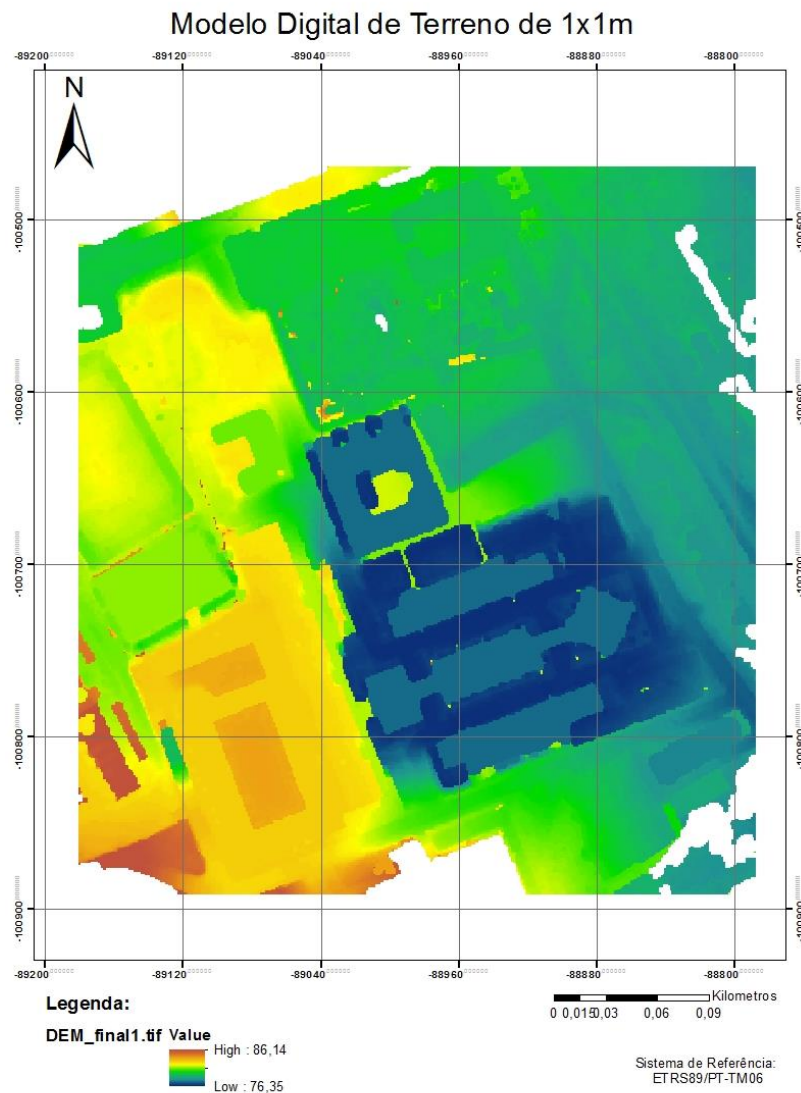


Figura 3.5 - Modelo Digital de Terreno Original de resolução $1 \times 1m$.

Através da Figura 3.5, pode-se observar que existem ainda alguns artefactos no *MDT*, derivado à presença de objetos sobre o terreno, existentes nos dados *LiDAR* originais, e que não foram completamente removidos. Estas mesmas incorreções tiveram que ser corrigidas para que os modelos 3D dos edifícios, bem como dos restantes elementos exteriores do *Campus*, pudessem ser corretamente integrados no modelo do terreno. Para tal, o modelo de terreno (originalmente em formato *raster*) foi convertido para uma *shapefile* do tipo *point* de modo a facilitar a edição necessária. Este ficheiro de pontos, onde cada ponto contém o respetivo valor de cota, proveniente do ficheiro *raster*, permite modificar o valor de cota onde o *MDT* inicial apresenta incorreções e de seguida, gerando assim um novo *MDT* minimizando as incorreções. Identificados todos os pontos que correspondiam às zonas com incorreções, procedeu-se à correção das cotas substituindo-as pelo valor de cota do ponto vizinho mais próximo que estivesse correto, tendo este processo sido realizado interativamente. Assim, foi possível suavizar determinadas zonas que continham incorreções, e, de seguida, criar um *MDT* regular, de forma a descrever todo o terreno do *Campus* de forma mais verosímil (Figura 3.6).

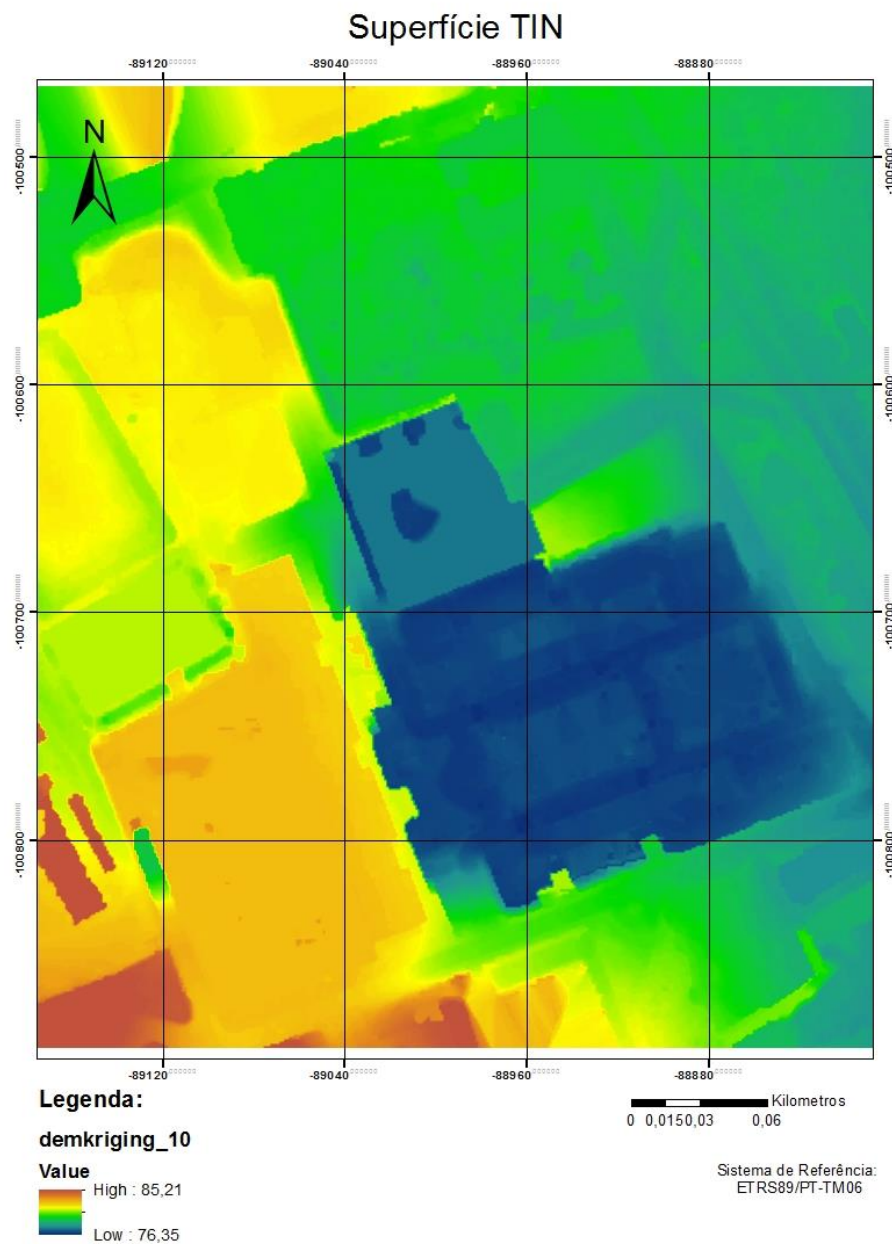


Figura 3.6 - Modelo Digital de Terreno corrigido de resolução 1x1m.

Através da visualização da Figura 3.6, podemos observar algumas melhorias em determinadas zonas, onde existiam alguns artefactos. Os artefactos coincidiam com árvores ou pequenos muros, minimizando assim a sua contribuição no modelo altimétrico gerado. Em relação às zonas suavizadas, existentes sobretudo nas localizações dos edifícios, a correção das cotas deveu-se ao facto de os próprios edifícios não estarem localizados sobre o terreno, mas sim um pouco elevados, uma vez que o terreno no *MDT* não é completamente horizontal na área de implantação dos mesmos (Figura 3.7).

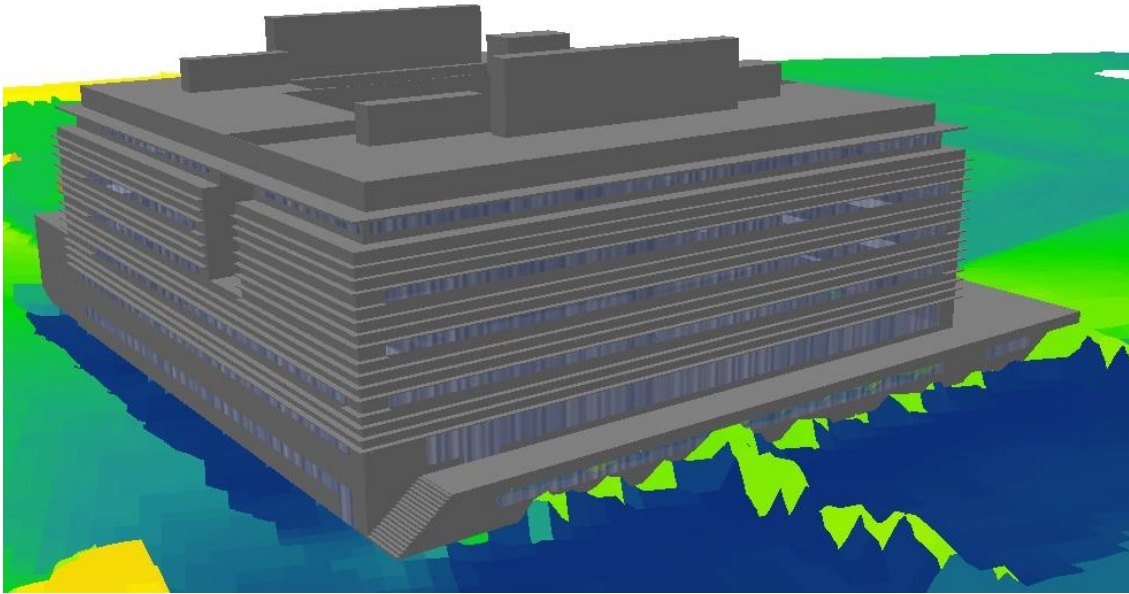


Figura 3.7 - Localização do modelo 3D do edifício C8 face ao MDT inicial.

O processo de suavização nestas zonas foi realizado em duas etapas: a primeira correspondeu, na shapefile dos pontos, à eliminação dos pontos localizados nas zonas dos edifícios, criando uma grande área sem pontos (Figura 3.8). Após a eliminação dos pontos, passou a existir um conjunto de pontos de fronteira (formas localizadas na Figura 3.8). Estes pontos, designados de pontos de fronteira, são pontos que contêm uma cota irregular, mas que estão localizados próximos de pontos com cota correta. Assim, atribuiu-se a estes pontos a cota dos pontos vizinhos procedendo-se de seguida a uma interpolação pelos valores de cota, criando assim uma área de cota regular nas zonas dos edifícios.

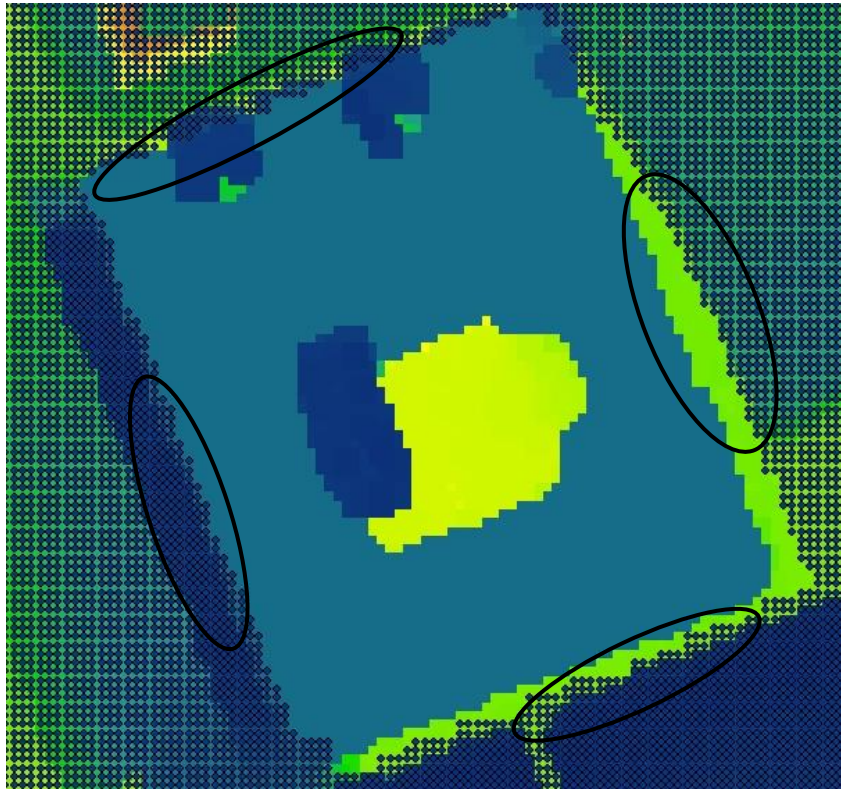


Figura 3.8 - Relação do MDT inicial com a shapefile de pontos com cota.

Assim que todos os pontos possuíam valores de cotas razoáveis, criou-se um *MDT* final, com uma resolução do pixel de $1 \times 1m$. Com base no ficheiro de pontos, que foi utilizado para a criação de um novo *MDT*, gerou-se uma superfície *TIN* (*Triangular Irregular Network*) (Figura 3.9). Esta superfície foi gerada posteriormente à criação do *MDT* final, pois dependia do ficheiro de pontos utilizado nesse processo, tendo sido usada na modelação dos elementos exteriores do *Campus*.

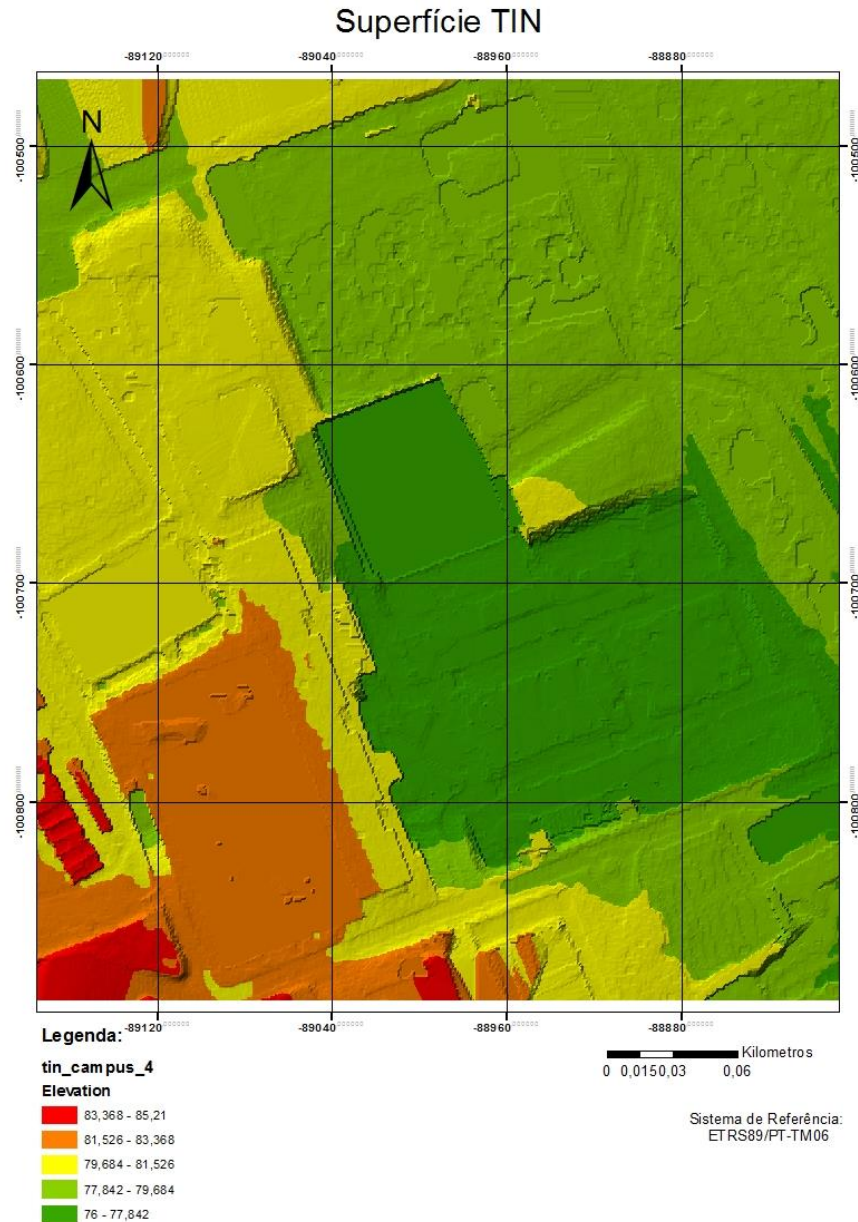


Figura 3.9 - Superfície TIN do terreno no *Campus* da FCUL.

3.3.2. Modelação das componentes exteriores do *Campus*

A modelação das componentes que constituem o exterior do *Campus* (arruamentos, estacionamento, zonas verdes e passeios), foram obtidas através de estereorrestituição fotogramétrica, que consiste no processo de extração de informação existente em fotografias aéreas. Através deste processo (Matildes 2009), foram obtidos todos os objetos existentes no *Campus*, como, para além das componentes já mencionadas anteriormente, os *footprints* dos edifícios e zonas de água (por exemplo: lagos). No entanto, na zona do *Campus*, apenas existem arruamentos, zonas verdes, estacionamento, passeios e os *footprints* dos edifícios, sendo que apenas foram utilizados os dados referentes aos primeiros quatro elementos. Em relação aos edifícios, estes foram modelados em 3D. Como primeiro passo, foi transformado o ficheiro *CAD* num ficheiro *shapefile* (formato *ArcGis*) dos polígonos referentes a cada elemento. Com a transformação completa, exportou-se cada tipo de elemento em ficheiros diferentes, com o objetivo de manuseá-los com uma maior simplicidade. Uma vez que o processo de restituição foi realizado por um operador, podem existir erros após a finalização do mesmo, tais como polígonos com

valores de cota errados, podendo visualizar esses erros através da Figura 3.10a. A edição dos polígonos consistiu em mover os respetivos vértices para as suas posições mais próximas do modelo digital de terreno, para que depois fosse corrigido totalmente, com a superfície *TIN* criada anteriormente.

O polígono referente ao passeio foi obtido através dos dados anteriores. Foi criado um polígono envolvendo a área total do *Campus*, e de seguida, foram retirados todos os elementos contidos no seu interior, ou seja, os arruamentos, estacionamentos, zonas verdes e *footprints* dos edifícios, obtidos através da função do *ArcGis Multipatch Footprint*, que permite obter o *footprint* dos edifícios modelados em 3D, obtendo assim todos os passeios existentes na zona do *Campus* da *FCUL*.

Depois de todos os polígonos estarem corrigidos e os passeios criados, procedeu-se ao processo de transformação dos dados referentes ao exterior, do formato polígono para o formato *multipatch*. Este formato, que consiste numa rede de triângulos, permite que os dados do exterior contendam o terreno numa forma próxima da real utilizando a superfície *TIN* criada no processo anterior. Com esta transformação, obteve-se todas as componentes do exterior (arruamentos, estacionamentos, zonas verdes e passeios) com a cota correta, ou seja, sobre a superfície do terreno. Através da visualização da Figura 3.10 é possível verificar as diferenças finais no polígono do jardim do C8, comparando o polígono inicial com o final.

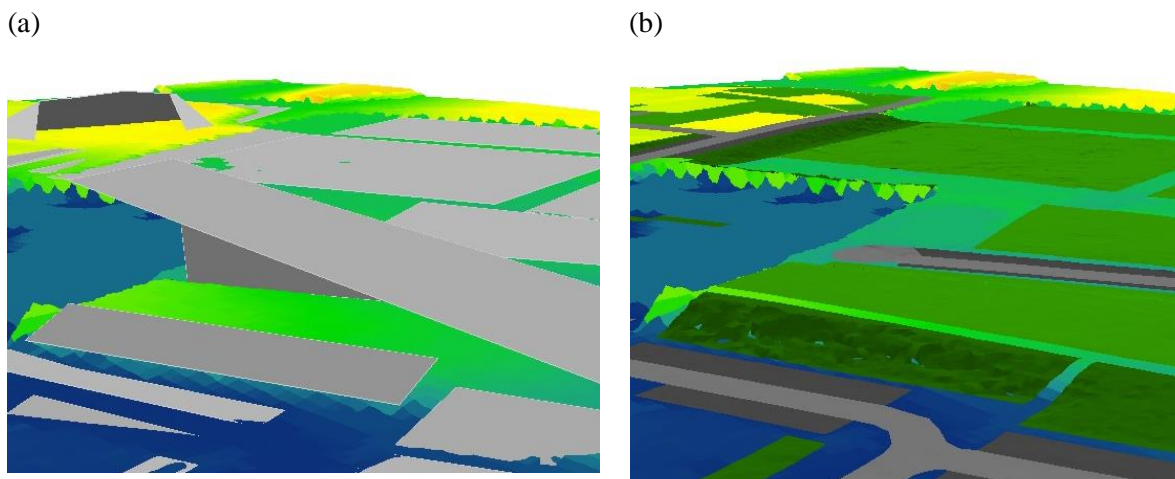


Figura 3.10 - Polígono do jardim do C8 (a) inicial (b) final.

3.3.3. Estruturação e Criação da Base de Dados

A criação da base de dados foi pensada para que fosse possível organizar, gerir, consultar, atualizar e partilhar informação nela contida de uma forma mais estruturada/organizada. A base de dados, como já foi mencionado, foi elaborada no software *ArcGis*, contendo os elementos do exterior do *Campus*, os edifícios modelados em 3D e os dados referentes aos elementos de proteção contra incêndios, à canalização de abastecimento de água e ainda às condutas de *AVAC*. Para que a criação da base de dados fosse efetuada corretamente, foi necessário perceber que dados é que deviam de ser guardados, de forma a poderem ser consultados e visualizados no futuro pelos utilizadores interessados.

Para que a criação da base de dados fosse a mais adequada, contendo todas as entidades e suas ligações, foi criado um modelo de dados, que consiste numa representação de entidades, com os devidos atributos, e as interligações entre cada entidade. Para este projeto, foi usado o modelo de dados geográficos *OMT – G (Object Modeling Technique for Geographic Applications)* (Davis JR. & Laender 2000), que parte das primitivas definidas para o diagrama de classes *UML (Unified Modeling Language)*, introduzindo primitivas geográficas.

3.3.3.1. Diagrama de Classes do *Campus Virtual da FCUL*

O modelo de dados criado para este projeto foi baseado no modelo de classes criado pela *ESRI*. Este modelo é desenvolvido apenas em torno da localização do edifício e da estrutura interior do mesmo, como os pisos e espaços de cada piso (Figura 3.11)². Para além do modelo, a *ESRI* desenvolveu um exemplo das entidades ligadas às infraestruturas de um edifício, atribuindo alguns atributos representativos. No entanto, estas entidades eram consideradas como gerais, ou seja, no caso dos equipamentos de proteção contra incêndios era considerada apenas uma entidade que representa todos os tipos de equipamentos, não existindo uma diferenciação entre um extintor e um carretel. Face a esta situação, foram desenvolvidas entidades separadas para cada tipo de equipamento, constituídas pelos atributos adequados. Assim, a criação do modelo de dados do *Campus Virtual da FCUL* foi realizada concatenando o modelo da *ESRI* com as entidades criadas para representar todos os tipos de equipamentos de proteção contra incêndios, as entidades referentes às condutas de *AVAC* e à canalização.

A escolha do modelo de dados *ESRI* face a outros, podendo realçar o modelo de dados *INSPIRE*, baseou-se na simplicidade e no facto de outros organismos que estão a desenvolver projetos similares terem ou pretenderem adotar este modelo, pois seria, do ponto de vista do apoio técnica da *ESRI*, benéfico que os modelos fossem os mesmos diferindo apenas em pequenas diferenças. A consideração do modelo de dados *ESRI* como simplista deriva do seu fácil entendimento, conseguindo perceber cada entidade envolvida e as respetivas ligações para as restantes. No entanto, e para o projeto aqui desenvolvido, este modelo descreve todas as entidades úteis e necessárias para a realização do modelo de dados da *FCUL*. Em comparação com este modelo, encontra-se o modelo de dados *INSPIRE*. Este modelo é mais complexo do que o modelo de dados *ESRI*, um maior número de entidades, tanto para a caracterização dos edifícios, como para as infraestruturas existentes no interior de um edifício. A Figura 3.12 consiste no modelo de dados, *INSPIRE*, aplicado apenas ao edifício, dividindo o edifício em várias partes. No modelo da *ESRI*, a entidade referente ao edifício é apenas caracterizada pelos pisos, secções e espaços interiores. Através destes factos, optou-se pelo modelo de dados *ESRI* pois, apesar de menos completo do que o da diretiva *INSPIRE*, contém a toda a informação necessária para a criação do *Campus* da *FCUL*. O modelo de dados desenvolvido para o *Campus* da *FCUL* é apresentado na Figura 3.13.

² Uma vez que a perceção do modelo completo era nula, foram retiradas pequenas informações com o objetivo de ilustrar as entidades mais relevantes do modelo.

Modelo de Dados ESRI

Building Interior Space Data Model – BISDM2 Core

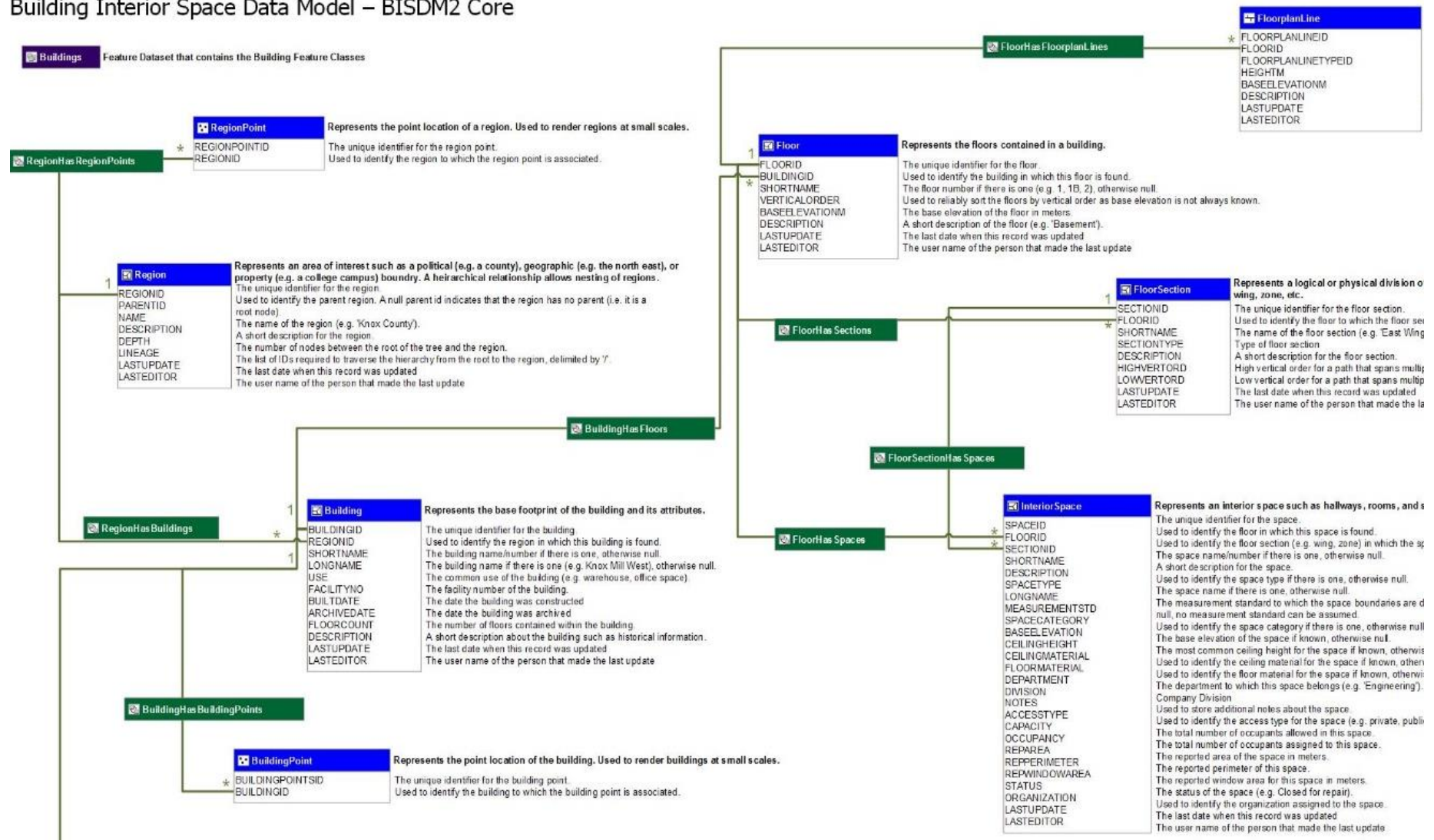


Figura 3.11 - Modelo de Dados ESRI (ESRI).

Modelo de Dados INSPIRE aplicado ao Edifício

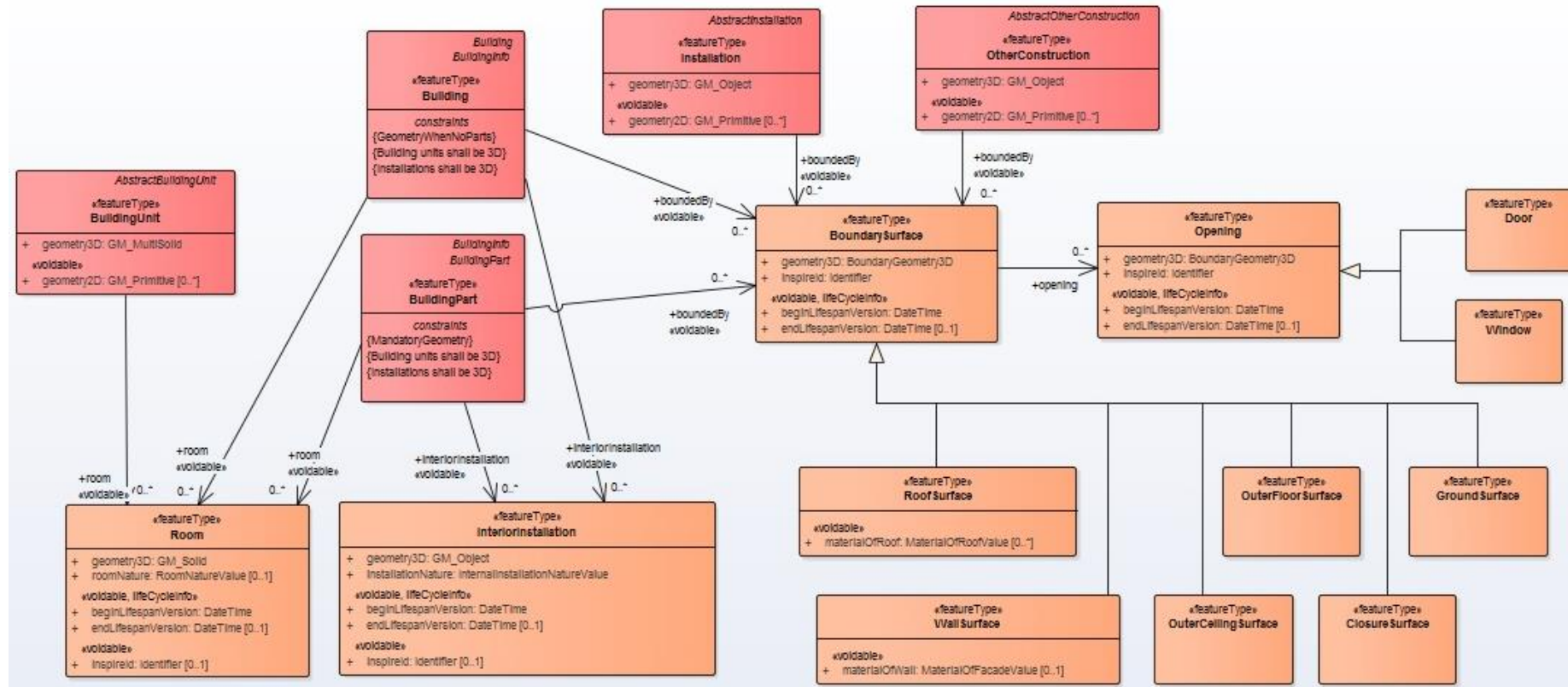
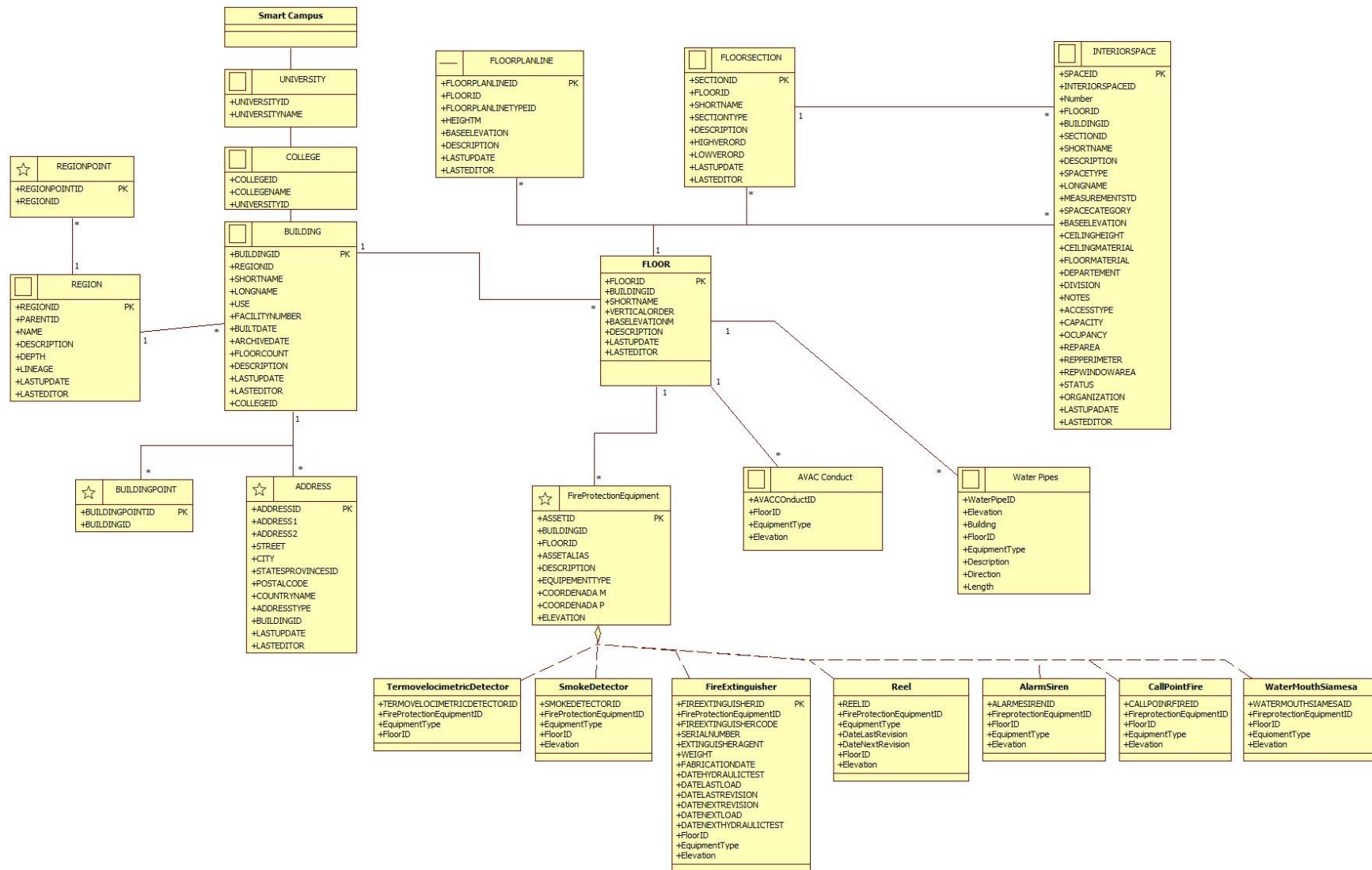


Figura 3.12 - Modelo de Dados INSPIRE aplicado ao Edifício (INSPIRE).

Modelo de Dados do *Campus Virtual da FCUL*Figura 3.13 - Modelo de Dados adotado para o *Campus Virtual da FCUL*.

Visualizando a Figura 3.13, é possível observar as entidades constituintes do modelo de dados e todos os tipos de ligações que são necessárias para que exista interligação entre as mesmas. Este modelo contém entidades referentes às infraestruturas (por exemplo: *FireProtectorEquipment*), entidades referentes ao interior de edifícios (por exemplo: *InteriorSpace*) e entidades referentes ao exterior do *Campus* (por exemplo: *Building*). As entidades *College* e *University* correspondem a entidades gerais, ou seja, são entidades que podem conter dados sobre outras faculdades e universidades, caso o modelo seja adotado para outro *Campus*. No modelo de dados usado neste projeto, não foram utilizadas todas as entidades representadas no modelo, pois era necessário que existisse mais dados sobre outros *Campus*, para os localizar pelo nome, endereço ou região, sendo apenas usada a parte do modelo referente ao interior do edifício e às infraestruturas usadas. No entanto, é possível completar o *Campus* usando o modelo apresentado na figura anterior. Na entidade *InteriorSpace*, o atributo *InteriorSpaceID* corresponde a um identificador único de cada espaço, sendo composto por quatro pequenos códigos, como ilustra a Figura 3.14. O último código, designado de *Código do tipo de espaço*, foi adaptado de um projeto realizado na *FCUL*.



Figura 3.14 - Exemplo da utilização do atributo *InteriorSpaceID*.

Pela análise da Figura 3.14, podemos observar um exemplo da composição do código que define um determinado espaço. O *Código do Edifício* e o *Código do Piso* correspondem, pela designação descrita, ao edifício e piso onde o espaço está localizado, sendo que neste exemplo, o espaço está localizado no piso 1 do edifício C8. O terceiro código corresponde ao número do espaço. Uma vez que também existe informação sobre as paredes, pilares, elevadores, escadas e corredores, este terceiro código pode conter números e letras, designando o número do corredor ou elevador. O último código, define o tipo de espaço, sendo dividido em duas partes. O primeiro número (à esquerda) corresponde a um tipo de espaço geral, e o segundo número (à direita) a um sub-tipo de espaço mais detalhado, baseado no primeiro. Neste exemplo, o código 5 corresponde à Sala e o código 2 corresponde a um Gabinete, correspondendo assim o código 5.2 a uma sala do tipo gabinete. A Tabela 3.4 apresenta todos os códigos considerados neste projeto para os tipos de espaços, tanto o tipo mais geral como o sub-tipo mais detalhado.

Tabela 3.4 - Códigos de designação dos tipos de salas.

Tipo Geral	Sub-tipo
1.0 Zona Técnica	1.1 Equipamento de gestão de redes
	1.2 Elevadores
	1.3 Arrumos
	1.4 Parede exterior
	1.5 Parede interior
	1.6 WC
	1.7 Condutas verticais
	1.8 Garagem
2.0 Zona de Transição	2.1 Corredor
	2.2 Átrios
	2.3 Escadas
3.0 Zona Social	3.1 Bar
	3.2 Espaço associativo
4.0 Anfiteatros	4.1 Anfiteatro
5.0 Salas	5.1 Aula
	5.2 Gabinete
	5.3 Administração e serviço
	5.4 Alunos
6.0 Infraestruturas	6.1 Laboratório
	6.2 Biblioteca
	6.3 Armazém laboratorial
	6.4 Armazém técnico
	6.5 Oficinas
	6.6 Arquivo

3.3.4. Modelação do Interior do Edifício C8

A modelação do interior do edifício foi dividida por pisos, realizando-se todo o processo piso a piso. O primeiro passo deste processo consistiu na georreferenciação das *shapefiles* (formato *ArcGis*) das plantas dos pisos, existindo um ficheiro por piso. O processo de georreferenciação foi necessário, uma vez que as plantas continham um sistema de referência que não coincidia com o sistema cartográfico usado neste projeto (*ETRS89/PT – TM06*). As plantas dos pisos foram georreferenciadas ao *footprint* do edifício C8, sendo que a primeira planta a ser georreferenciada correspondeu à do piso 2 (piso térreo). Todas as restantes plantas foram georreferenciadas à planta do piso 2, que já estava devidamente georreferenciada.

Depois de todas as plantas estarem devidamente posicionadas, procedeu-se à edição das mesmas. Esta consistiu em definir, de uma forma diferente da inicial, a composição das paredes de cada piso. Uma vez que as paredes de fora estavam interligadas com as paredes do interior do edifício, sendo impossível distinguir as duas, realizou-se uma edição às *shapefiles*, separando as paredes exteriores das paredes interiores. Este processo foi realizado para todos os pisos, de forma a tornar todos os dados coerentes. Antes de se extrudir as paredes, foram atualizados os atributos existentes nas plantas dos pisos, tais como os apresentados na Tabela 3.5.

Definidos os atributos e devidamente preenchidos, com informação obtida através do Gabinete de Infraestruturas e Apoio Técnico (*GIAT*), procedeu-se à extrusão das paredes e pilares de cada piso e à atribuição de textura ao chão e paredes. Este processo foi realizado no *software CityEngine* e consistiu em importar os dados referentes aos pisos e, posteriormente, à criação de uma regra *CGA* que definisse a altura das paredes e pilares. Uma vez que as plantas dos pisos foram editadas, com o objetivo de se

separar as paredes viradas para o exterior das paredes localizadas no interior, foi possível definir duas alturas diferentes na regra criada, sendo uma altura para as paredes exteriores e uma segunda altura para as paredes interiores. A altura dos pilares corresponde à altura das paredes exteriores. Não foi definida apenas uma altura pois a visualização dos pisos iria parecer confusa e de difícil perceção, o que não era o pretendido. Assim, com duas alturas, a visualização dos espaços torna-se mais intuitiva e simples. Para além da extrusão das paredes, também foram aplicadas texturas às paredes e ao chão, com o objetivo de atribuir um aspeto realista.

Tabela 3.5 - Atributos característicos dos pisos e seus tipos.

Atributo	Tipo
ObjectID	<i>short</i>
InteriorSpaceID	<i>long</i>
Number	<i>text</i>
FloorID	<i>long</i>
BuildingID	<i>long</i>
SectionID	<i>long</i>
ShortName	<i>text</i>
Description	<i>text</i>
SpaceType	<i>text</i>
LongName	<i>text</i>
MeasurementSTD	<i>double</i>
SpaceCategory	<i>text</i>
Elevation	<i>double</i>
CeilingHeight	<i>double</i>
FloorMaterial	<i>text</i>
Department	<i>text</i>
Division	<i>text</i>
Notes	<i>text</i>
AccessType	<i>text</i>
Capacity	<i>short</i>
Ocupancy	<i>short</i>
RepArea	<i>double</i>
RepPerimeter	<i>double</i>
RepWindowArea	<i>double</i>
Status	<i>text</i>
Organization	<i>text</i>
LastUpdate	<i>text</i>
LastEditor	<i>text</i>
Extension	<i>short</i>

3.3.5. Modelação dos elementos de proteção contra incêndios

O primeiro passo no processo de modelação dos elementos de proteção contra incêndios consistiu em transformar toda a informação, em formato *AutoCAD*, para formato *ArcGis*. Esse processo foi realizado no *software ArcGis* e consistiu apenas na exportação do ficheiro original para *shapefile*. Estes ficheiros continham como dados, a localização dos elementos de proteção contra incêndios, como Extintores, Carreiros, Botoneiras de Incêndio, Baldes de Areia, Detetores de Fumo, Detetores Termovelocimétricos,

Sirenes de Alarme e Bocas de Água Siamesas, e ainda, a planta do piso. Como tal, o processo de georreferenciação foi realizado previamente à extração dos elementos necessários, tendo como referência as plantas de cada piso do edifício, obtendo deste modo, todos os elementos georreferenciados. Em seguida, extraiu-se apenas os elementos de proteção contra incêndios, formando assim um ficheiro com os dados pretendidos. O processo seguinte consistiu em transformar todos os elementos que estavam no tipo *polyline*, para o tipo *point*, de forma a eliminar duplicação de informação e facilitar a gestão de informação: **1 linha na tabela de atributos → 1 elemento de proteção contra incêndios**. Assim, é possível realizar pesquisas mais eficientes. Tendo todos os dados no formato adequado, procedeu-se ao tratamento dos atributos de cada *shapefile* dos equipamentos de proteção contra incêndios e ainda, à transformação das mesmas em 3D, através da respetiva informação altimétrica.

Na Tabela 3.6, observam-se os oito tipos de elementos de proteção contra incêndios tratados neste projeto e os respetivos atributos na Tabela 3.7. Destes elementos, os extintores constituíam uma prioridade, existindo a necessidade de representá-los e visualizá-los de forma interativa para se obter um maior controlo e poder de gestão deste equipamento pelo que contém um maior número de atributos do que os restantes. A elevação dos elementos é constituída pela cota do nível do chão do piso onde se encontram adicionada da respetiva altura a partir do chão. A tipo de cada elemento corresponde uma altura diferente. Na Tabela 3.8 encontra-se a elevação de todos os equipamentos de proteção contra incêndios correspondente a cada piso do edifício.

Tabela 3.6 - Elementos de Proteção contra Incêndios.

Elementos de Proteção contra Incêndios
Boca de Água Siamesa
Balde de Areia
Botoneira de Incêndio
Carretel
Detetor de Fumo
Detetor Termovelocimétrico
Extintor
Sirene de Alarme

Tabela 3.7 - Atributos do Elemento de Proteção contra Incêndios Extintor.

Extintor – Atributos
ObjectID
Elevation
FloorID
EquipmentType
FireProtectionEquipmentID
FireExtinguisherCode
SerialNumber
ExtinguisherAgent
Weight_Kg
FabricationDate
DateHydraulicTest
DateLastLoad
DateLastRevision
DateNextHydraulicTest
DateNextRevision

Tabela 3.8 - Elevação atribuída aos equipamentos de proteção contra incêndios em cada piso.

Piso	Elevação				
	Extintor e Balde de Areia	Detetor de Fumo, Detetor Termovelocimétrico e Sirene de Alarme	Botoneira de Incêndio	Carretel	Boca de Água Siamesa
1	77.90m	80.10m	78.20m	78.60m	78.40m
2	80.70m	84.10m	81.00m	81.40m	81.20m
3	84.70m	88.10m	85.00m	85.40m	85.20m
4	88.70m	92.10m	89.00m	89.40m	89.20m
5	92.70m	96.10m	93.00m	93.40m	93.20m
6	96.70m	100.10m	97.00m	97.40m	97.20m

Com todos os elementos devidamente tratados, procedeu-se à aplicação de objetos com geometria implícita nas respetivas posições. Cada elemento é representado por um modelo 3D que se assemelha visualmente ao objeto concreto. Por exemplo, os extintores são representados por um modelo 3D de um extintor. Estas aplicações foram realizadas através de regras *CGA*, no *software CityEngine (ESRI)* e recorreu-se a modelos 3D disponíveis na internet, como por exemplo no site sketchup.com, onde é possível aceder a modelos 3D representativos de diversos objetos reais.

3.3.6. Modelação das condutas de AVAC

A metodologia aplicada às condutas de *AVAC* é semelhante à metodologia apresentada anteriormente, apenas diferenciando em dois passos. O primeiro passo consiste na transformação dos dados, do tipo *polyline* para o tipo *polygon*. Depois dos dados terem sido transformados para este formato e de estarem devidamente georreferenciados (operação realizada anteriormente à transformação dos formatos), procedeu-se à organização da tabela de atributos. Os atributos associados às condutas de *AVAC* dizem respeito ao piso onde se encontram, ao tipo de equipamento correspondente e à sua elevação. A coluna **Elevation** corresponde à elevação do piso, onde se encontra a conduta, adicionado da altura a que o

mesmo se encontra do chão, como indicado no subcapítulo anterior. Na Tabela 3.9 podemos observar as elevações atribuídas a cada conduta em cada piso onde se encontram. Uma vez definidas as elevações e transformadas as *shapefiles* em 3D, procedeu-se à aplicação de textura e à extrusão das condutas de AVAC. Este processo foi realizado, como na modelação anterior, através de regras *CGA* no *software CityEngine*. É de realçar que a altura das condutas, do chão à base das mesmas, não é sempre igual, como se pode verificar através da Tabela 3.9, uma vez que a diferença de elevações entre o piso 1 e o piso 2 não é de 4m como nos restantes pisos. A largura, no entanto, considerou-se sempre igual, cerca de 40cm.

Tabela 3.9 – Elevação atribuídas às condutas de AVAC em cada piso do edifício.

Piso	Elevação
1	79.50m
2	83.50m
3	87.50m
4	91.50m
5	95.50m
6	99.50m

3.3.7. Modelação das canalizações de abastecimento de água

A modelação dos tubos que representam as canalizações de abastecimento de água do edifício C8 foi criada como o último processo. O primeiro e segundo passos realizados corresponderam à importação e transformação das plantas que continham a informação das canalizações em formato *AutoCAD* para formato *ArcGis* e à respetiva georreferenciação. Não foi necessário transformar o tipo dos dados, uma vez que estes já se apresentavam no formato adequado, em *polyline*. Com os dados devidamente georreferenciados, procedeu-se de seguida à extração das linhas que correspondiam às canalizações. Uma vez que existem três tipos de canalizações, foram criadas *shapefiles* para cada tipo, uma vez que existem canalizações que se cruzam. A modelação desta infraestrutura em 3D, ao contrário das restantes, não foi realizada no *software CityEngine*, pois não apresenta ferramentas para a modelação de tubagens.

A utilização do *software CityEngine* para a modelação desta infraestrutura mostrou ser um processo bastante complexo, uma vez que o mesmo não está preparado para a representação de um *BIM*. A primeira ideia consistiu em importar para o *software CityEngine* os elementos em formato original, ou seja, em *polyline*, para que de seguida fosse possível criar cilindros em torno dessas linhas. No entanto, qualquer elemento que seja importado para este *software* é considerado como se fosse uma estrada, criando de imediato a forma da mesma com os respetivos passeios (Figura 3.15).

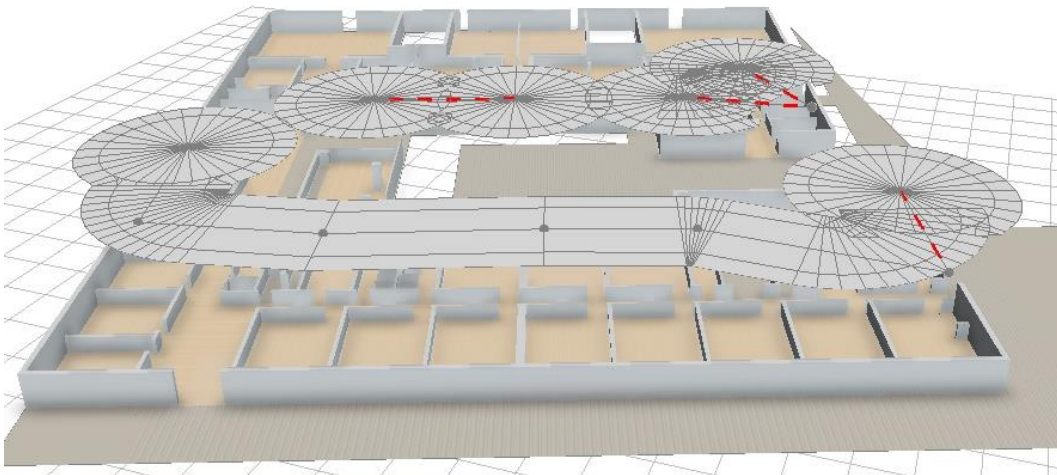


Figura 3.15 - Importação dos elementos da canalização no software CityEngine.

Como podemos observar pela Figura 3.15, o resultado da importação de uma *shapefile* contendo linhas representativas das canalizações resulta num aglomerado de estradas, com as devidas interseções, zonas de circulação e passeios. Foi necessário pesquisar e estudar qual a melhor maneira de retirar, de toda a informação gerada no ato da importação, apenas a informação útil à construção dos tubos, sendo essa informação a linha central das vias. Sem sucesso, foi necessário adotar uma alternativa eficaz. Essa alternativa passou pela utilização de ferramentas *SIG 3D*, obtendo assim os resultados esperados, neste caso, tubos. Tendo uma *shapefile* no formato linha, através de uma ferramenta *SIG* denominada de **Buffer 3D**, é possível criar um determinado sólido com eixo na linha e dimensão, consoante uma distância definida. O resultado deste processo pode ser um sólido na forma de um tubo ou de um paralelepípedo, consoante a escolha utilizada. Posto isto, foi utilizada esta ferramenta para criar os tubos representativos da canalização de abastecimento de água do edifício C8, tendo sido usada uma distância para o **Buffer** de 10cm, podendo observar esse resultado na Figura 3.16.

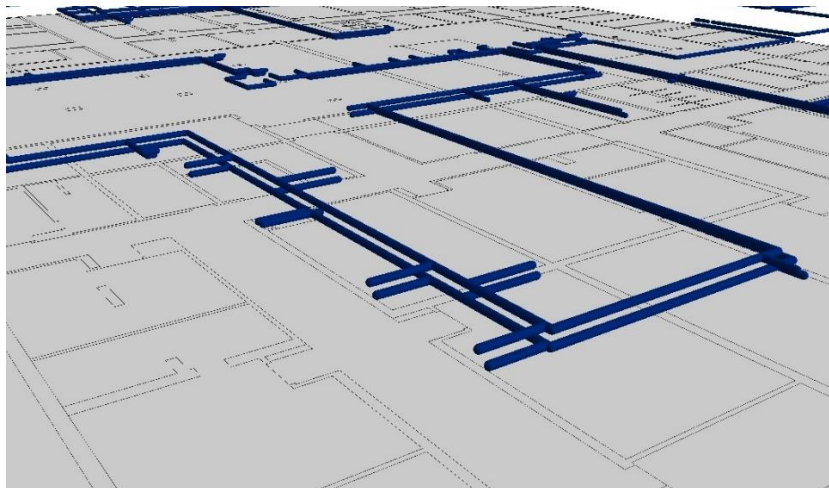


Figura 3.16 - Tubos representativos da canalização da água quente do piso 1.

Posteriormente, todos os modelos 3D dos tubos da canalização foram importados para o software *CityEngine* para serem englobados no modelo final do *Campus*, como podemos ver na Figura 3.17. A canalização de água quente é representada pela cor azul, a canalização de água fria pela cor azul claro e a canalização de água fria + quente é representada pela cor amarela.

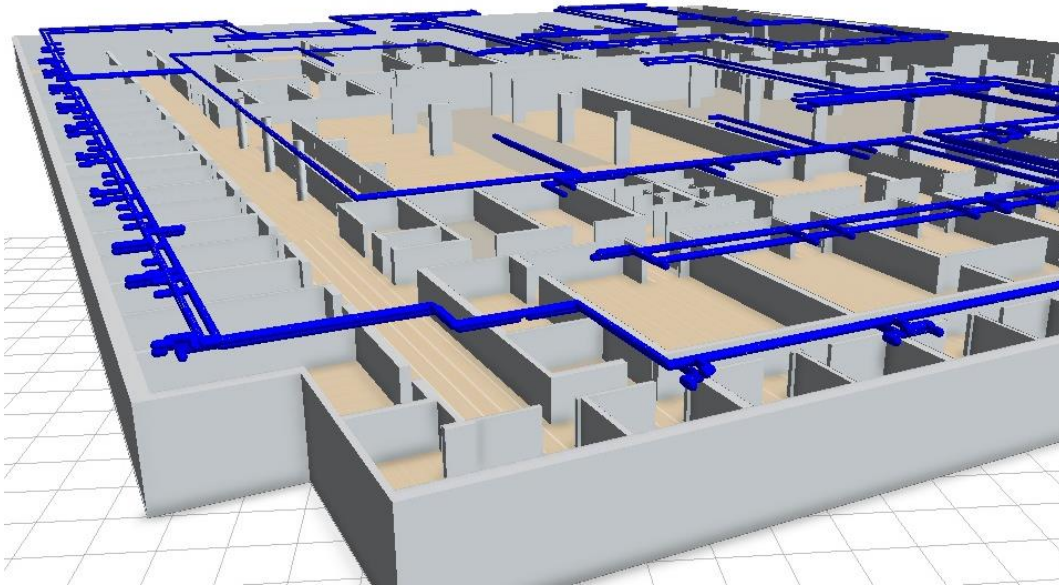


Figura 3.17 - Incorporação dos modelos 3D da canalização no modelo 3D do *Campus*.

3.4.Problemas encontrados e sua resolução

Ao longo do projeto, alguns aspetos da metodologia adotada tiveram de ser ajustados, uma vez que o processo não produzia os resultados pretendidos, tanto a nível dos resultados relativos ao tratamento dos dados como os resultados relativos à visualização dos dados na *Web*. Esses ajustes passaram por adotar uma metodologia diferente, modificando assim a forma inicial da realização dos processos, mas obtendo os mesmos resultados pretendidos, como ajustar o mais próximo possível os elementos exteriores do *Campus* ao *MDT*, representar o mais realista possível o interior e as infraestruturas do edifício *C8* e criar um modelo final onde fosse possível consultar e visualizar toda a informação desejada.

3.4.1. Dados exteriores em formato Multipatch

A restituição dos elementos exteriores do *Campus* (arruamentos e estacionamento, espaços verdes e passeios) é proveniente do formato *AutoCAD*, sob a forma de polígonos. Cada vértice do polígono contém um determinado valor de cota. No entanto, a elevação do polígono fica moldada à elevação dos respetivos vértices e não à superfície do terreno, o que resulta em falhas entre o terreno e os polígonos. Erros desta dimensão provêm do facto de esta restituição ter sido realizada para um produto final *2D*, ou seja, para uma carta e não para *3D*. A Figura 3.18 ilustra a diferença entre os dados da restituição e o Modelo Digital de Terreno, podendo-se observar as falhas mencionadas anteriormente.

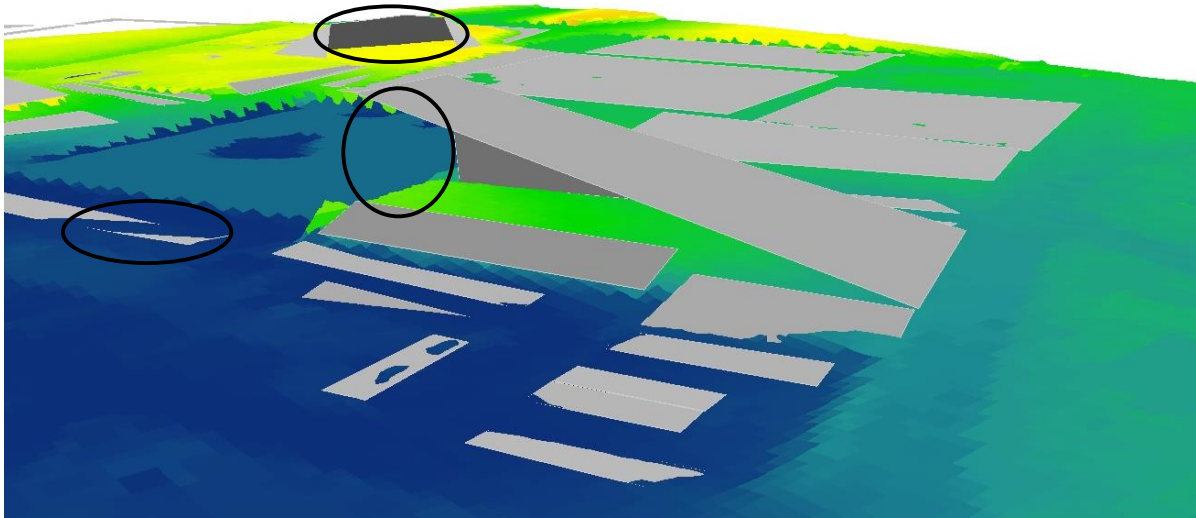


Figura 3.18 - Restituição do exterior em formato *polygon* sobre o Modelo Digital de terreno.

Na Figura 3.18, estão representados os polígonos referentes aos estacionamento, arruamentos e espaços verdes, que são usados neste projeto. Para além de alguns erros facilmente visíveis, o facto dos polígonos não se modelarem ao modelo, levaram a uma mudança de procedimentos. A utilização de dados em formato *multipatch* permite que os mesmos estejam com uma determinada elevação ajustados a uma determinada superfície. Assim, é garantido que os elementos pretendidos estão ajustados à superfície desejada. Posto isto, adotou-se o procedimento de transformar os dados, em formato *polygon*, para dados em formato *multipatch*, tendo em conta a superfície criada anteriormente (Figura 3.9). Através da visualização da Figura 3.19, observamos os mesmos dados da figura anterior, no entanto, com uma melhor definição, uma vez que estão corrigidos de qualquer erro e ainda, ajustados à superfície do terreno.

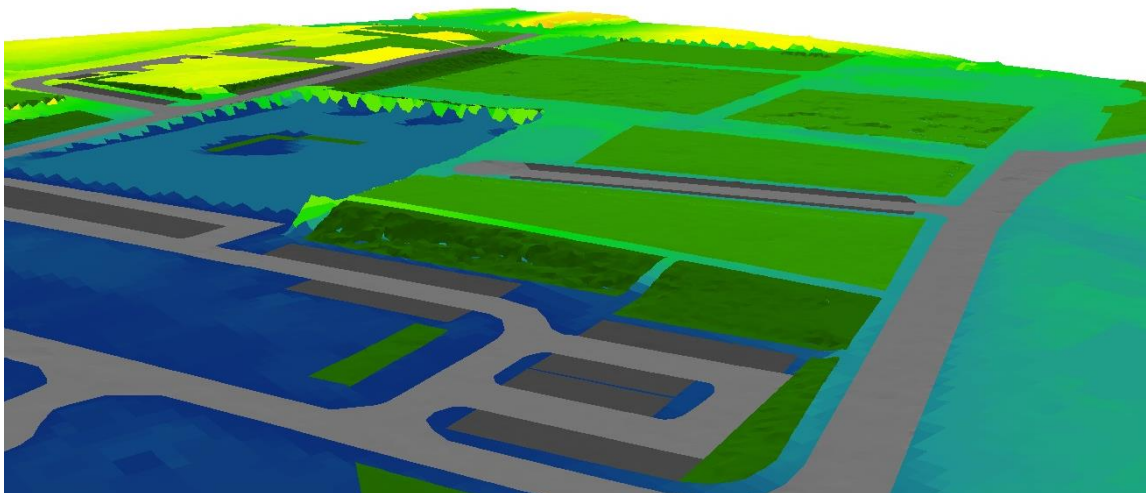


Figura 3.19 - Planimetria do exterior em formato *multipatch* sobre o Modelo Digital de Terreno.

3.4.2. Georreferenciação das plantas dos pisos do edifício C8

As plantas dos diversos pisos do edifício C8 foram georreferenciadas relativamente ao *footprint* do modelo 3D do seu exterior. No entanto, uma vez que os temas não foram obtidos pelo mesmo método, surgiram algumas discrepâncias relativamente à coincidência dos limites nos resultados obtidos, o que originou uma mudança de processos. A modelação do edifício C8 em 3D, foi realizada através de

processos estereofotogramétricos e modelação gráfica 3D, a partir do qual se obteve posteriormente, o respetivo *footprint*. Como o modelo 3D já estava georreferenciado, continha como sistema de referência o sistema *ETRS89/PT – TM09*. As plantas dos pisos já se encontravam no formato *ArcGis*, tendo sido apenas necessário converter o sistema de referência de origem, *Datum Lisboa*, para o sistema de referência *ETRS89/PT – TM06*. Tendo finalizado o processo anterior, procedeu-se à georreferenciação das plantas, tendo sido usada a transformação *Affine* pois apresentava um resultado mais próximo entre os vértices do *footprint* e os das plantas.

Depois da georreferenciação realizada (Figura 3.20), observamos que a planta, neste caso, referente ao piso 2 (modelo de cor preta), não está totalmente alinhada com o *footprint* do edifício (modelo de cor rosa). Apesar de ambas as plantas estarem no mesmo sistema de referência, elas não ficam coincidentes no final do processo. O processo de georreferenciação foi realizado de forma iterativa, com o objetivo de alinhar as plantas totalmente com o *footprint*. No entanto, apenas aproximações resultaram do processo, mas não com sobreposições totais. O facto de os processos de obtenção dos dados originais não terem sido os mesmos, pode resultar numa não-sobreposição dos resultados.

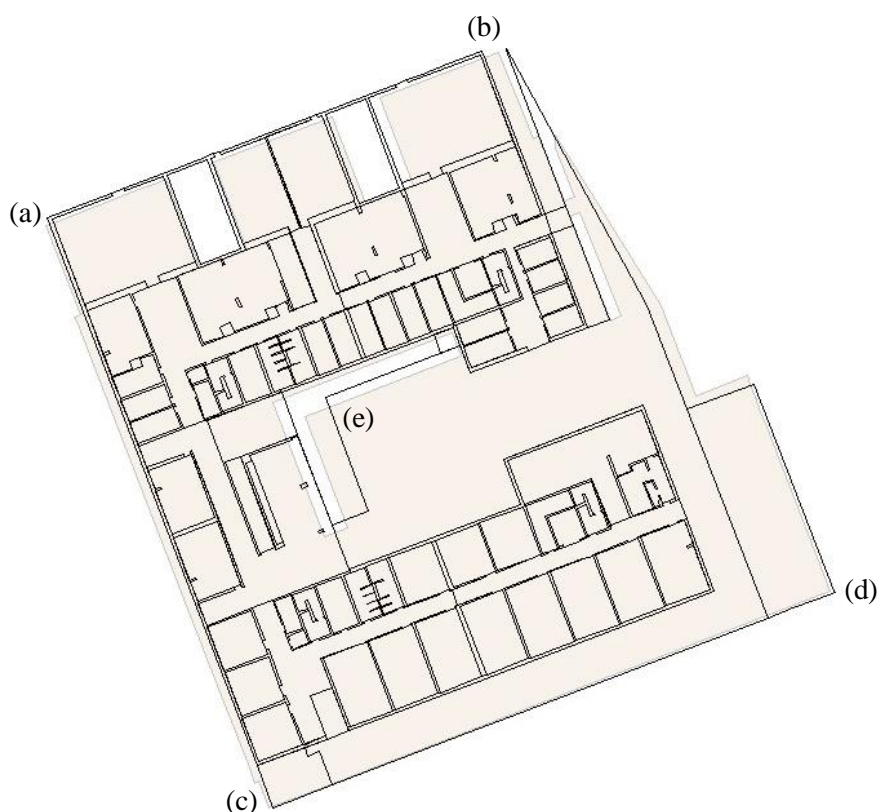


Figura 3.20 - Discrepâncias entre o footprint do Edifício C8 (a rosa) e a planta CAD do piso 2 (a preto).

Depois de realizar a georreferenciação, procedeu-se à medição dos desajustes entre as plantas dos pisos e o *footprint* do edifício. Foram comparadas diferentes zonas, distantes entre si, de forma a obter a distância máxima de desajuste em toda a área. Na Figura 3.22 estão representadas cinco medições de desajustes, cada uma localizada numa zona diferente. As cinco diferentes zonas estão sinalizadas, com a mesma referência, na Figura 3.20.

Através da Figura 3.22 podemos visualizar as zonas, com mais pormenor, onde foram medidas as distâncias de desajuste entre a planta do piso 2 e o footprint do edifício C8, verificando que a zona com maior desajuste se localiza no pátio do C8, com um desajuste de 3.42m. A zona onde o desajuste é o menor localiza-se nas escadas de acesso à porta lateral do edifício C8 (Figura 3.22c). Através destes

desajustes, foi possível determinar o *RMS* (Erro Médio Quadrático) associado a esta georreferenciação, sendo ele de $0.83m$. Tendo em conta este desajuste, esta georreferenciação foi comparada com a planta do *Campus* da *FCUL* obtida através de técnicas de topografia, com o objetivo de verificar qual dos elementos se aproximava da planta. Através da Figura 3.21 podemos observar as diferenças existentes entre os três conjuntos de dados, existindo também um desajuste com a planta topográfica.

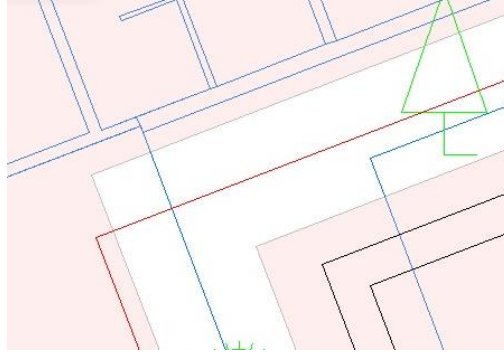


Figura 3.21 - Comparação dos desajustes entre footprint do edifício C8 (a rosa), planta do piso 2 (a azul) e planta topográfica (a preto).

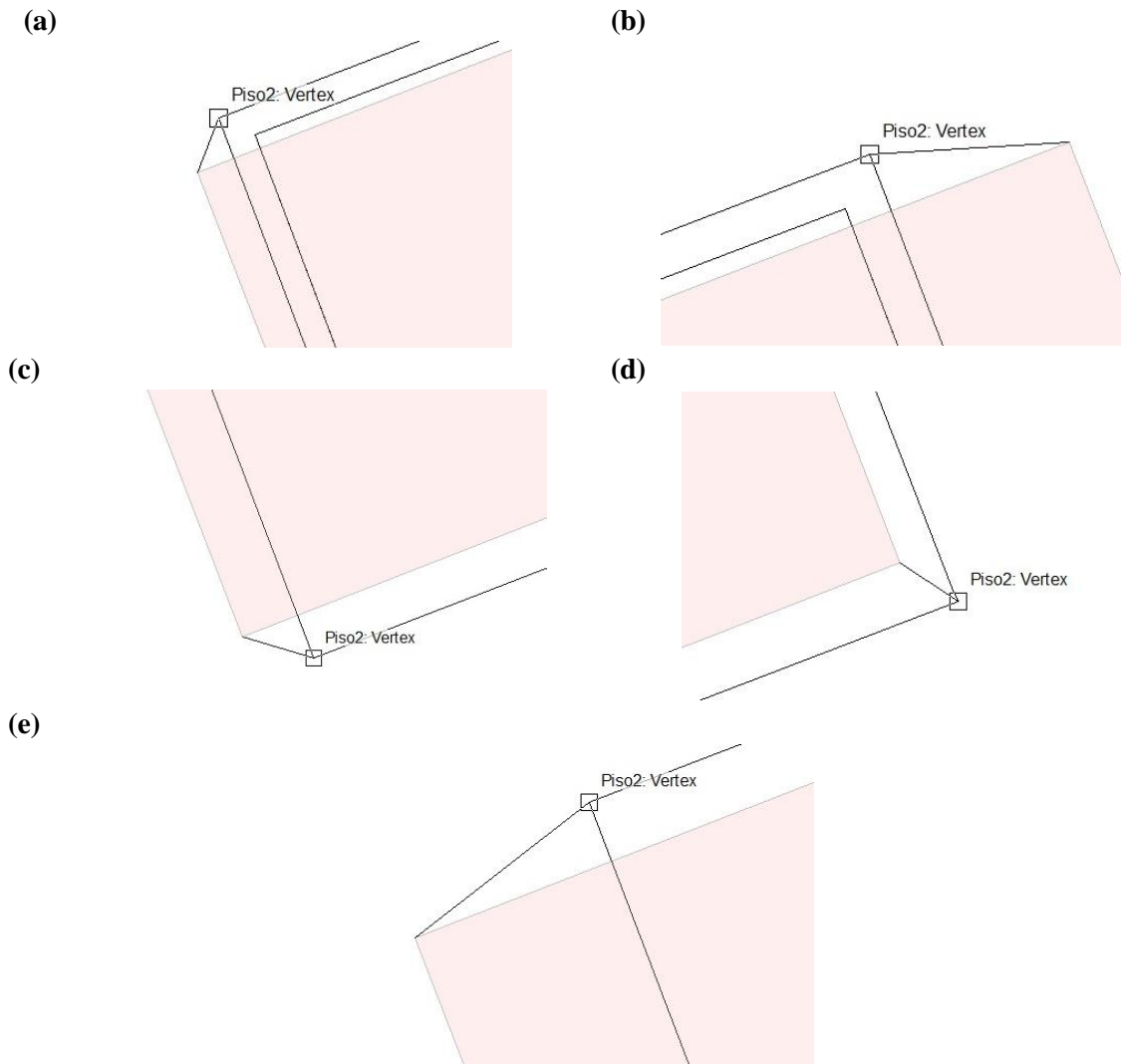


Figura 3.22 - Desajustes entre a planta do piso 2 (a preto) e o footprint do edifício do C8 (a rosa) de (a) $0.83m$, (b) $1.91m$, (c) $0.61m$, (d) $0.88m$ e (e) $3.42m$.

Posto isto, houve necessidade de resolver o problema encontrado. Uma vez que todos os pisos se ajustam entre si, sendo o único problema a georreferenciação dos mesmos ao *footprint*, considerou-se como produto final a melhor aproximação espacial entre estes dois produtos, uma vez que durante a visualização dos dados na *Web*, apenas se visualiza um dos dois conjuntos: ou se visualiza o interior do edifício, definido pelos seus pisos, ou se visualiza o modelo 3D exterior do edifício.

3.4.3. Visualização dos dados na Web

A visualização dos dados na *Web* gerou alguns problemas finais, pois não foi possível exportar todos os temas consoante o modelo de dados desenvolvido, uma vez que a proposta inicial não se verificou possível de realizar. Esta proposta inicial consistia em apresentar no *Campus* da FCUL, informação geográfica e informação alfanumérica, sem que esta estivesse alocada em temas geográficos, mas sim em tabelas, relacionadas com os devidos temas geográficos. Uma vez que o último processo de tratamento dos dados é realizado no *software CityEngine*, a plataforma utilizada para a visualização dos dados foi o *CityEngine Web Viewer*. No entanto, esta plataforma não permite visualizar dados não geográficos, ou seja, dados inseridos em tabelas. Por este motivo, a representação dos dados na *Web* teve que ser adaptada às possibilidades da plataforma.

Na estruturação da base de dados, os elementos de proteção contra incêndios estão representados em tabelas, existindo depois, uma entidade que concatena todos os elementos e que está ligada a cada elemento individualmente. A base de dados, com esta estrutura, permite que não exista sobreposição de informação, não sendo necessária a existência de uma entidade geográfica para cada elemento e uma entidade geográfica para todos os elementos em conjunto. No entanto, como não é possível visualizar tabelas na plataforma *CityEngine Web Viewer*, foi necessário criar uma *shapefile* (formato *ArcGis*) para cada elemento. A estruturação da base de dados no *software ArcGis* manteve-se a mesma, existindo as tabelas com relações à entidade principal, sendo possível realizar *queries* mais elaboradas.

Um dos objetivos da realização do modelo do *Campus* consiste na viabilização da realização de *queries* que permitam recolher informação sobre um determinado tema. Pelo facto da plataforma *CityEngine Web Viewer* permitir apenas a realização de *queries* simples, houve necessidade de realizar outras modificações na organização dos dados na base de dados. Para além da criação de um ficheiro de dados geográficos para cada elemento de proteção contra incêndios, houve necessidade de criar esses mesmos ficheiros para cada piso do edifício. Uma vez que o edifício C8 é composto por seis pisos, foram criados seis ficheiros para cada tipo de elemento. Este último processo foi também aplicado aos dados das condutas de AVAC. A separação dos dados por piso teve em conta uma forma lógica de visualização dos dados, sendo possível visualizar todas as infraestruturas de apenas um determinado piso, ocultando toda a restante informação. Apesar de todas as infraestruturas conterem informação sobre o piso onde estão situadas (designação do atributo: **FloorID**), este método de visualização dos dados permite contornar a dificuldade de pesquisa, não sendo necessário realizar uma *query* onde sejam especificados o tipo de infraestrutura e o piso, mas sim, visualizando diretamente a *layer* (designação de cada ficheiro de dados no *CityEngine Web Viewer*) de uma determinada infraestrutura de um determinado piso. Pesquisas como “*Onde fica o gabinete 8.1.46?*” ou “*Onde fica o gabinete da Professora Paula Redweik?*” são possíveis de ser realizadas nesta plataforma, tais como “*Quais os Extintores do Tipo ABC?*”, “*Quais os espaços alocados ao Departamento de Física?*” ou ainda “*Quais as datas de validade dos Carreais do Piso 3?*”.

Uma última dificuldade referente à visualização dos dados consistiu na exportação dos mesmos para a *Web*. Uma vez que não é possível exportar tabelas, mas sim, apenas dados geográficos, houve necessidade de criar uma *WebScene* (formato *CityEngine* do modelo do *Campus*) apelativa, com uma visualização simples e intuitiva. Essa visualização passava pela criação de camadas. Uma camada

consiste na agregação de dados, consoante uma estrutura, com o objetivo de não sobrecarregar o visualizador inicial e de facilitar o acesso dinâmico aos dados por parte dos utilizadores. Uma das possibilidades de estruturação das camadas estudada, consistia em agrupar os dados por edifício, aumentando o detalhe de informação posteriormente. A Figura 3.23 ilustra a estrutura estudada, que representa o detalhe de informação partindo do edifício C8, informação geral, até uma determinada infraestrutura de um determinado piso, informação detalhada.

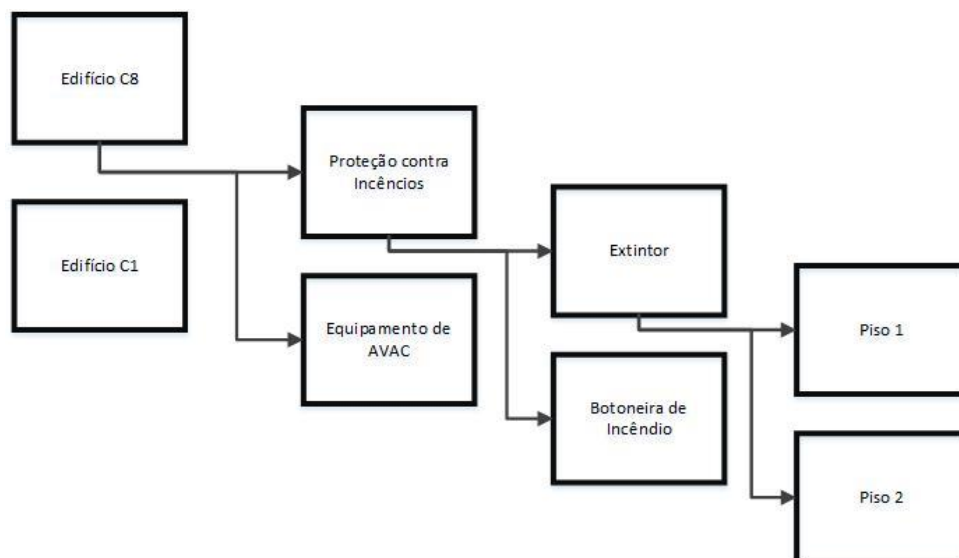


Figura 3.23 - Estrutura inicial de representação dos dados no CityEngine Web Viewer.

Estas sequências de camadas podem ser visualizadas na Figura 3.23 onde temos como camadas principais os edifícios, sendo que neste caso estão representados o edifício C8 e C1. Para obter mais informação sobre o edifício C8, era apenas preciso visualizar todas as camadas inseridas na camada principal, sendo, neste exemplo, equipamentos de proteção contra incêndios ou equipamentos de AVAC. No entanto, poderíamos observar ainda mais informação (detalhe), selecionando o tipo de equipamento de proteção contra incêndios desejado, podendo ser, neste exemplo, extintores ou botoneiras de incêndio. Com esta informação, estaríamos a visualizar todos os extintores do edifício C8, podendo posteriormente escolher um determinado piso, visualizando apenas os extintores do piso 1 ou piso 2, por exemplo. No entanto, esta plataforma apenas suporta a criação de uma camada, e não várias camadas dentro de uma.

A Figura 3.24 ilustra a representação alternativa dos dados na Web. Apesar de não agrupar os dados como o exemplo anterior, existindo uma maior sobrecarga de informação inicial, continua a ser intuitivo, sendo possível encontrar e visualizar um determinado tipo de informação que o utilizador pretenda. Neste caso, os equipamentos de proteção contra incêndios e as condutas de AVAC, relacionando com a figura, são representados em camadas diferentes, contendo apenas os respetivos equipamentos para cada piso do edifício C8. O resto da informação é também inserida em camadas com temas comuns.

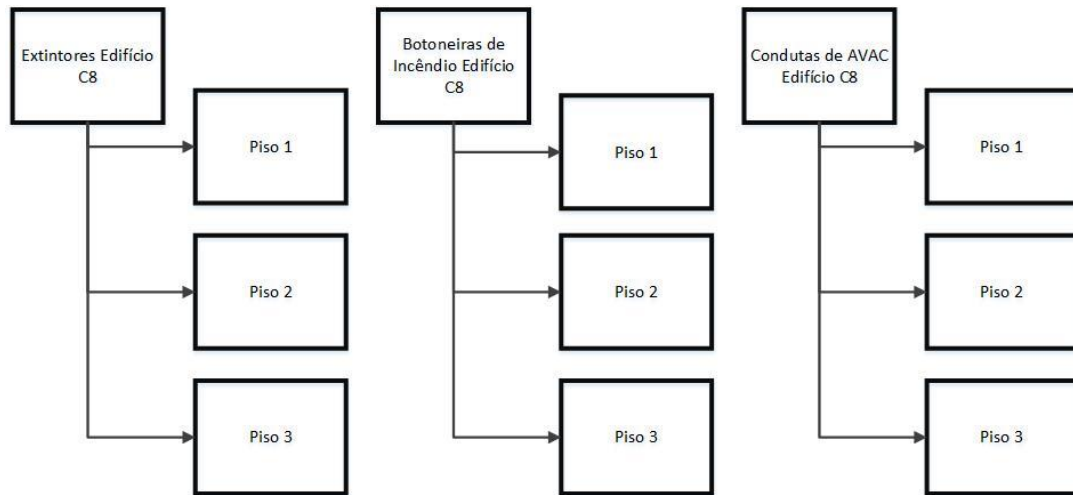


Figura 3.24 - Estrutura final de representação dos dados no CityEngine Web Viewer.

Capítulo 4 – Apresentação e Análise dos Resultados

- 4.1. Resultados das componentes exteriores do *Campus*
- 4.2. Resultados da modelação dos pisos do Edifício C8
- 4.3. Resultados da modelação das infraestruturas
- 4.4. Visualização e exploração do *Campus* Virtual na Web

4. Apresentação e Análise dos Resultados

No presente capítulo são apresentados os resultados finais de determinados processos da metodologia utilizada e ainda resultados finais de possíveis pesquisas efetuadas na aplicação *CityEngine Web Viewer*. Uma vez que o processo de construção do *Campus Virtual da FCUL* teve início na modelação do exterior, serão então os primeiros resultados a serem apresentados.

4.1. Resultados das componentes exteriores do Campus

Como já foi mencionado, as componentes do exterior do *Campus* foram desenvolvidas em duas dimensões, de forma a serem devidamente corrigidas e completadas. Uma vez prontas, foi aplicada uma textura tornando estes objetos mais realistas. A Figura 4.1 ilustra todas as componentes exteriores finais em duas dimensões.



Figura 4.1 - Componentes exteriores do *Campus Virtual*.

A figura anterior ilustra então, o exterior do *Campus* da *FCUL*, onde todas as componentes se encontram com cores adequadas ao objetivo de uma fácil perceção do modelo. Os espaços verdes foram designados de duas formas: **Canteiro** e **Jardim**. Os *Jardins* são grandes espaços verdes e são representados pelos polígonos com verde claro. Estas zonas foram designadas por *Jardins* uma vez que são zonas utilizáveis como espaço de lazer. As zonas de *Canteiros* são pequenos espaços verdes que estão localizados perto de edifícios ou em separações entre um estacionamento e um arruamento e estão representados pela cor verde escuro. Com a cor cinzento escuro estão representados os estacionamentos do *Campus*, dentro e fora da faculdade.

As Figuras 4.2, 4.3 e 4.4 representam todas as componentes mencionadas anteriormente em três dimensões, com o mesmo código de cores, em perspetivas diferentes, com o objetivo de ilustrar a forma como se dispõem no relevo do terreno.

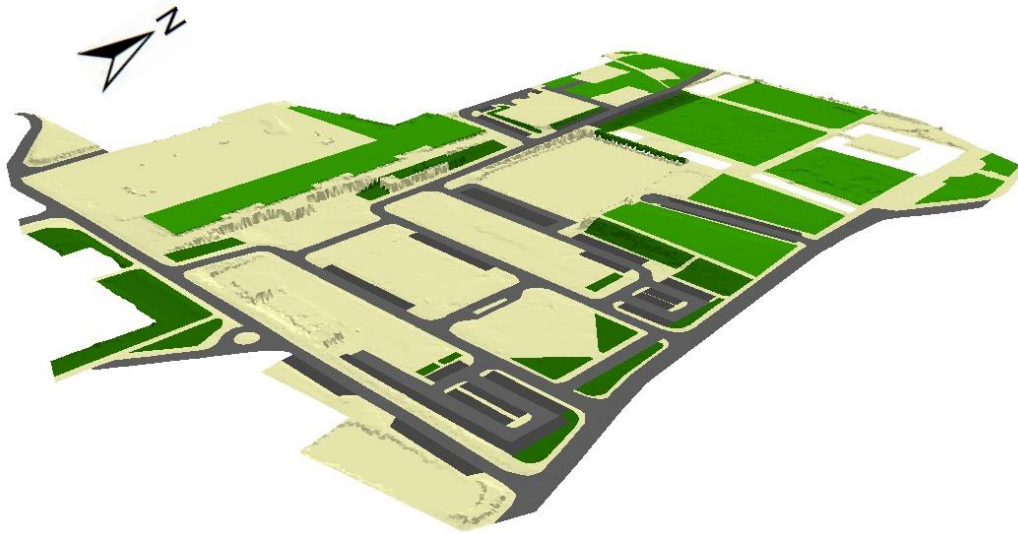


Figura 4.2 - Componentes exteriores do *Campus* em 3D: Zona Total.

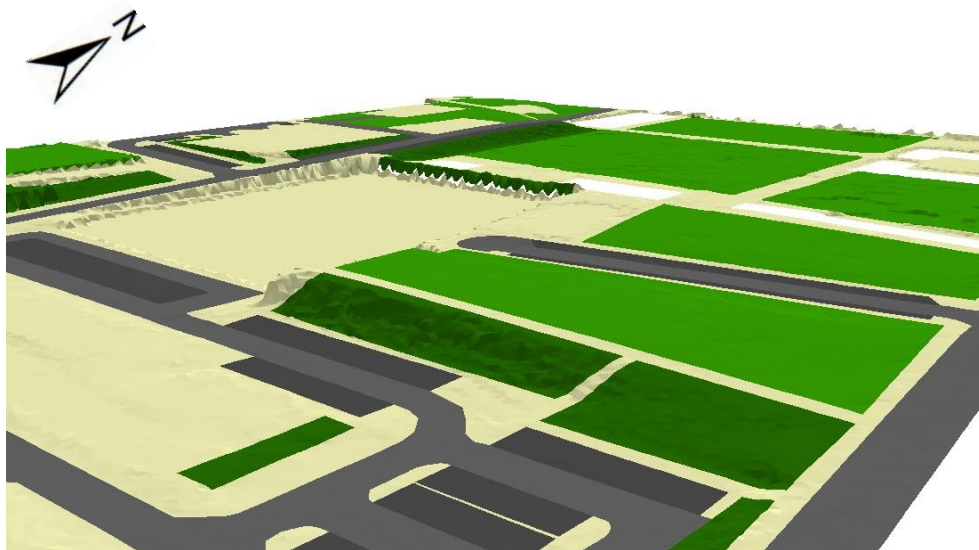


Figura 4.3 – Componentes exteriores do *Campus* em 3D: Zona do edifício C8.

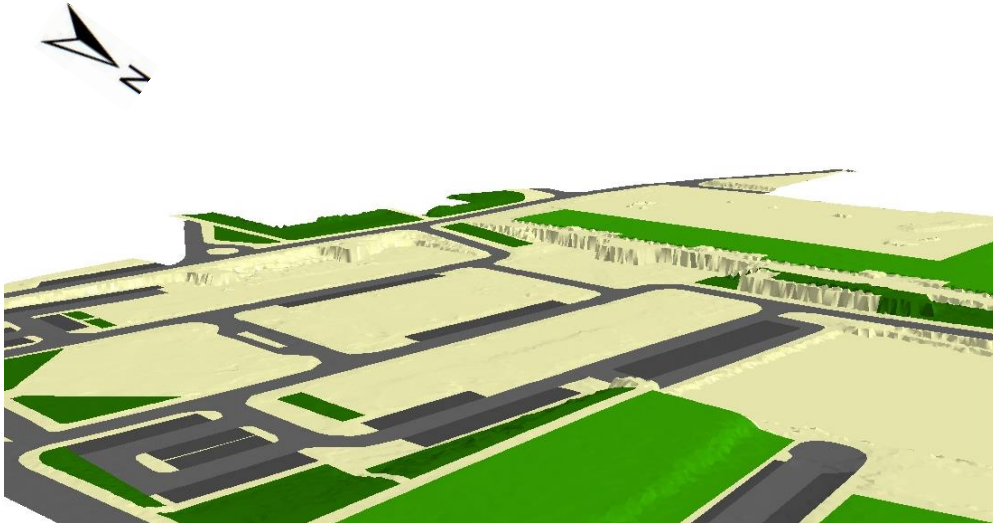


Figura 4.4 – Componentes exteriores do *Campus* em 3D: Zona dos edifícios C1, C2, C3 e C4.

4.2. Resultados da modelação dos pisos do Edifício C8

O processo de modelação dos pisos, como foi mencionado no capítulo anterior, foi realizado em duas etapas: numa primeira procedeu-se ao tratamento dos dados a nível de edição gráfica e dos atributos; na segunda etapa, procedeu-se à aplicação de regras desenvolvidas para modelar tridimensionalmente cada piso. A Figura 4.5 representa cada piso com a correspondente elevação.



Legenda:

Piso1	Piso4
Piso2	Piso5
Piso3	Piso6

Figura 4.5 - Representação dos seis pisos do edifício C8.

Através da Figura 4.5, é possível visualizar cada piso do edifício C8 (representados cada um com uma cor diferente). Para além da forma dos mesmos, podemos observar cada divisão existente, desde salas a

pequenos pilares. A partir desta informação, foi desenvolvida uma regra (designada Regra *CGA*) no software *CityEngine* com o objetivo de extrudir todas as paredes exteriores, interiores e pilares. Cada elemento foi extrudido de acordo com determinada altura (ver *Anexo A1*), de forma a se poder diferenciar o limite de cada divisão do limite do respetivo piso. Repare-se (Figura 4.6) que, intencionalmente, a altura atribuída às paredes não corresponde à altura real entre o chão e teto, de modo a viabilizar a visualização de divisões vizinhas no mesmo piso.

Para além da regra para gerar as paredes e pilares, foi aplicada ainda textura de pavimento ao chão de cada piso, sendo esta diferenciada para zonas que se localizam no exterior do edifício e para a localização das escadas e elevadores. Na Figura 4.6, pode-se observar todos os objetos mencionados anteriormente, como os pilares, as paredes interiores e exteriores e ainda os dois tipos de textura de pavimento. Uma vez finalizada a modelação 3D de cada piso, procedeu-se à modelação das infraestruturas.



Figura 4.6 - Representação dos pisos do Edifício C8 com textura e paredes extrudidas.

4.3. Resultados da modelação das infraestruturas

Esse processo baseou-se na aplicação de objetos de geometria implícita (modelos 3D de objetos previamente modelados e importados) aos elementos pontuais e na extrusão dos elementos lineares (redes) gerando sólidos de uma determinada altura. Para os elementos de proteção contra incêndios, aplicaram-se objetos de geometria implícita, sendo que cada elemento fica representado por um objeto visualmente semelhante. Por exemplo, o elemento extintor é representado por um objeto 3D com o formato e a cor de um extintor padrão. As condutas de *AVAC* foram obtidas através da extrusão de cada polígono que as constitui. Esta extrusão foi realizada de baixo para cima, ou seja, a partir da base dos polígonos para cima, na direção do teto, como um valor métrico de 40cm. Os tubos referentes à canalização de abastecimento de água do edifício C8 foram obtidos através de ferramentas SIG 3D, com o intuito de obter tubos de secção circular ilustrando tubos reais. As Figuras 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 exemplificam todos os tipos de elementos de infraestruturas incluídos no *Campus Virtual da FCUL*. Na Figura 4.10 estão representados dois tipos de canalização, juntamente com as condutas de *AVAC* desse piso.

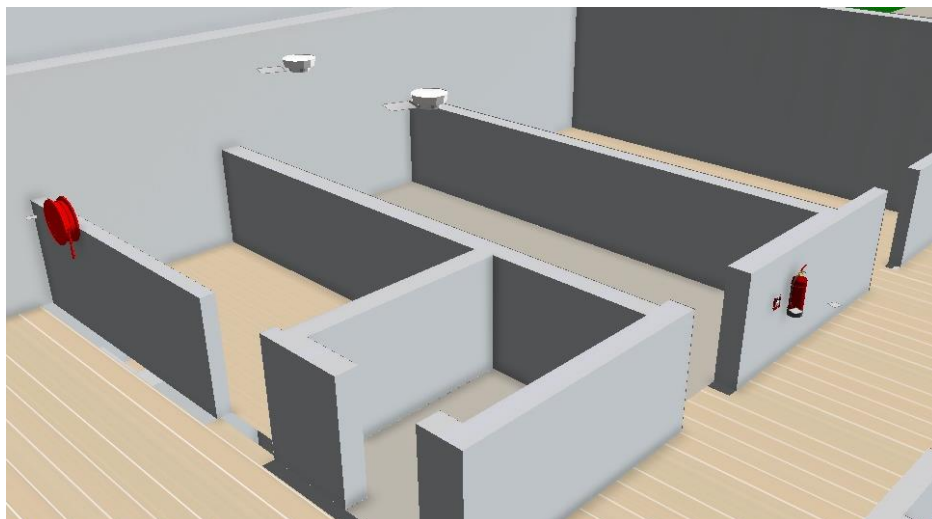


Figura 4.7 - Representação dos elementos Extintor, Botoneira de Incêndio, Detetor de Fumo e Carretel.

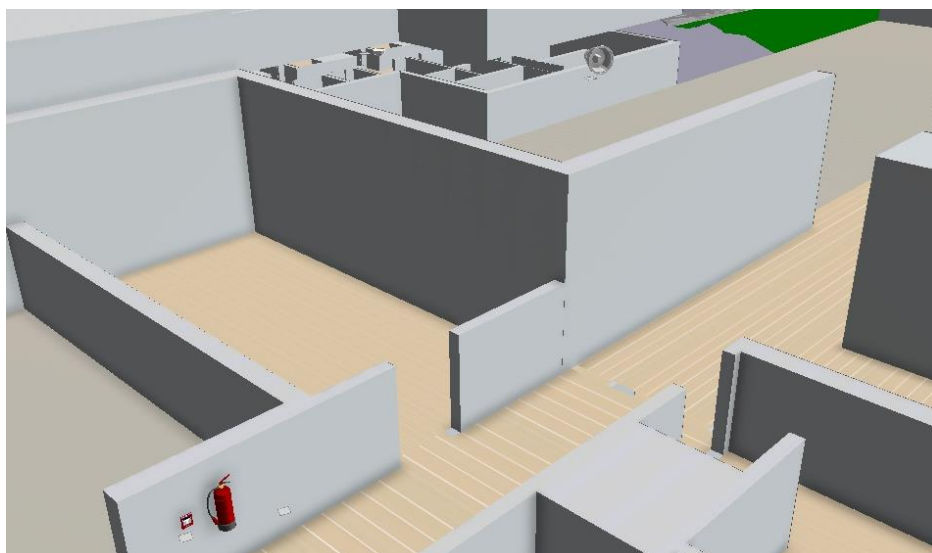


Figura 4.8 - Representação dos elementos Sirene de Alarme, Extintor e Botoneira de Alarme.

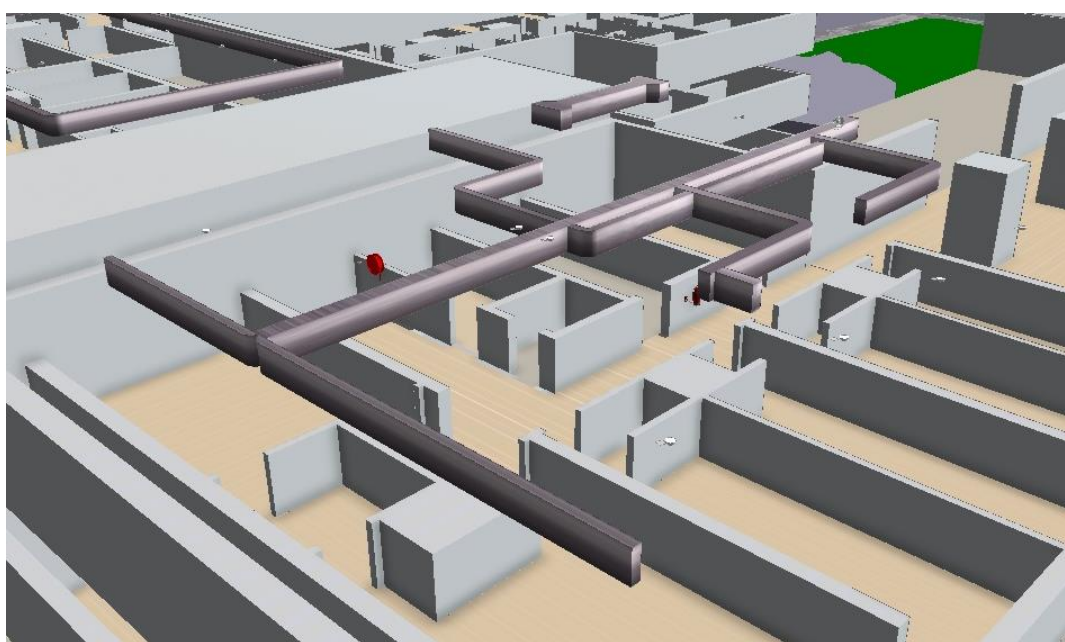


Figura 4.9 - Representação dos elementos Conduta de AVAC e Carretel.

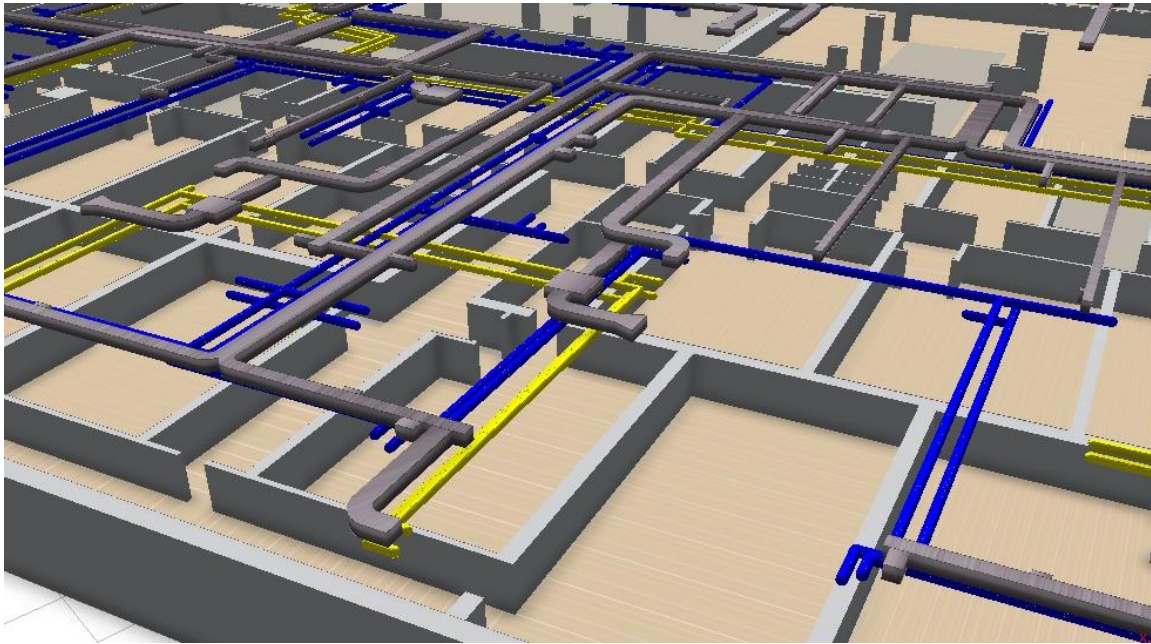


Figura 4.10 - Representação final da canalização de abastecimento de água quente (a azul) e água fria + quente (a amarelo) do piso 1.

As Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 representam as infraestruturas existentes no piso 6. Na Figura 4.10 estão representadas as canalizações do piso 1 referentes ao abastecimento de água quente (a azul) e água fria + quente (a amarelo), juntamente com as condutas de AVAC. É também de referir, que os objetos de geometria implícita não são uma representação exata dos elementos existentes na realidade, mas sim, uma representação visual genérica do elemento. Por exemplo, o elemento de proteção contra incêndios *Carretel* é representado por uma mangueira localizada fora de uma proteção presa à parede. No entanto, na realidade, este elemento está localizado no interior da parede, protegido por uma estrutura metálica.

4.4. Disponibilização na Web do *Campus Virtual da FCUL*

A disponibilização do modelo do *Campus* na aplicação *CityEngine Web Viewer* para exploração por parte do público interessado, consistiu na exportação de todos os objetos gerados no *software CityEngine*, em formato *.3ws* (*3D Web Scene*) para que possa ser aberto na web por meio de um link disponibilizado ao utilizador. Para além dos objetos já referidos em capítulos anteriores, foram ainda adicionados objetos de geometria implícita de árvores em alguns jardins e canteiros para embelezar o modelo, como se pode observar na Figura 4.11.



Figura 4.11 - Visualização do *Campus Virtual* da FCUL no CityEngine Web Viewer.

A Figura 4.11 representa o visualizador do *CityEngine Web Viewer*, onde está representado o exterior do modelo desenvolvido. Alguns dos dados foram exportados em modo “oculto”, de forma a não sobrecarregar a imagem inicial. Do lado direito da janela, na coluna azul, estão representados todos os temas incluídos no modelo (apenas dois subconjuntos estão visíveis na figura). Os objetos estão representados em camadas, agrupando objetos semelhantes. O método de representar os dados por camadas permite ainda visualizar dois temas que estejam contidos na mesma camada, em simultâneo, como está exemplificado na Figura 4.12. Neste caso, é o edifício C8 que é representado de duas formas: pelo modelo 3D, representando o exterior do mesmo (à esquerda), e pelos modelos 3D dos seus seis pisos interiores (à direita). Nesta camada, como existem mais temas, podem ser criadas outras visualizações comparativas, dependendo das opções do utilizador.



Figura 4.12 - Visualização do Edifício C8 modelado tridimensionalmente e pelos seus pisos em simultâneo.

Para além de se escolher os temas que se pretende visualizar, é ainda possível adicionar comentários no modelo, alterar as definições de luminosidade, alterando a posição do sol, obter informações mais detalhadas sobre um espaço ou objeto e ainda, realizar uma determinada pesquisa.

4.4.1. Realização de Pesquisas no CityEngine Web Viewer

No *CityEngine Web Viewer* é possível realizar determinadas pesquisas, tendo em conta os dados existentes na base de dados subjacente ao modelo. No *Campus Virtual de FCUL*, é possível realizar pesquisas aos espaços de cada piso ou às infraestruturas existentes. Uma das pesquisas que se pode realizar, consiste na procura da localização de uma determinada sala, sabendo o número da mesma. Assim, se pensarmos na pergunta *“Onde fica a sala 8.1.66?”* e realizarmos a pesquisa pelo número do espaço: *“8.1.66”*, o modelo ir-nos-á dar a resposta, realçando a localização da sala com uma cor diferente e esbatendo os restantes objetos que servem de referência (Figura 4.13).

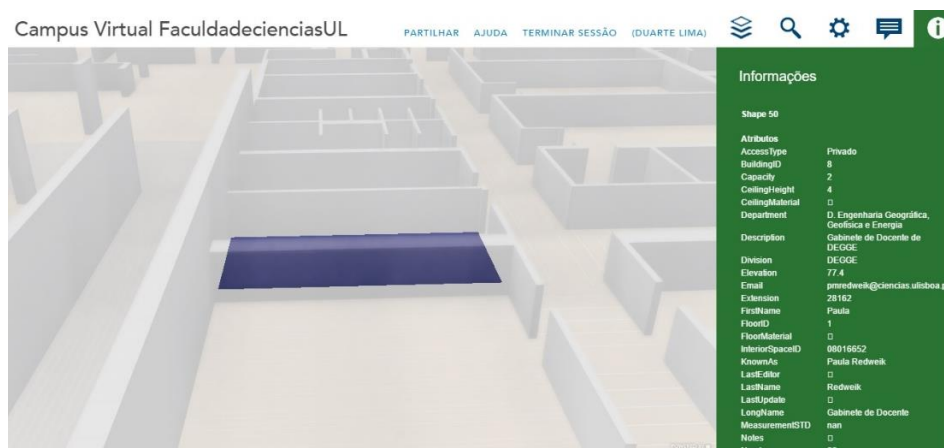


Figura 4.13 – Pesquisa nº1: Localização do espaço 8.1.66.

Para além da sua localização no modelo, é possível aceder a outro tipo de informação sobre a mesma desde que esta se encontre na base de dados. Por exemplo, a sala 8.1.66 consiste num gabinete de docente que é ocupada pela Prof. Doutora Paula Redweik, do Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia (*DEGE*). Os respetivos contactos são também acessíveis. Uma outra possível pesquisa consiste no contrário da anterior, ou seja, procurar o gabinete de um determinado docente. Se pensarmos na pergunta *“Onde fica o gabinete da Professora Cristina Catita?”* e realizarmos a pesquisa pelo nome da docente: *“Cristina Catita”*, a resposta será semelhante à anterior, embora diferenciando a forma como a pesquisa será realizada nos bastidores (Figura 4.14).



Figura 4.14 - Pesquisa nº2: Localização do gabinete da Professora Cristina Catita.

Como no caso anterior, o acesso a outras informações atribuídas ao resultado da pesquisa efetuada é possível, visualizando os detalhes do mesmo. Neste exemplo, observamos que o gabinete é dividido por duas docentes, obtendo assim informação sobre as mesmas. Uma terceira pesquisa possível, é a procura de salas ocupadas por um determinado departamento (Figura 4.15).



Figura 4.15 - Pesquisa nº3: Localização das salas ocupadas pelo Departamento de Física no piso 1.

Para a obtenção da figura anterior, foi pensada a pesquisa *“Quais as salas destinadas ao Departamento de Física no Piso 1?”*. Realizada a pesquisa, pelo nome do departamento: *“Department:D. de Física”*, e colocando apenas visível o piso 1, observamos todos os resultados possíveis (lado direito da figura). Clicando num qualquer resultado, obtemos toda a informação disponível na base de dados sobre o mesmo. Uma vez que também existem infraestruturas no modelo, pesquisas às mesmas também podem ser efetuadas. Como existem dois tipos de Extintores, *Tipo ABC* e *CO₂*, podemos realizar uma pesquisa procurando apenas um determinado tipo. Com a pergunta *“Quais os Extintores do Tipo ABC?”*, e com a devida pesquisa: *“Tipo ABC”*, observamos todos os Extintores do *Tipo ABC* do Edifício C8 (Figura 4.16).



Figura 4.16 - Pesquisa nº4: Extintores do Tipo ABC.

A Figura 4.16 ilustra todos os resultados da pesquisa realizada. Mais uma vez, selecionando um determinado extintor, obtemos todas as informações sobre o mesmo. Como existem mais resultados,

mas noutros pisos, os mesmos são-nos apresentados na janela de pesquisa, dizendo que existe um determinado número de itens numa *layer* que não está visível. Colocando visível a *layer* ou *layers* desejadas, observamos os resultados à pesquisa efetuada.

As pesquisas realizadas anteriormente são alguns exemplos de possíveis pesquisas a serem realizadas pelo utilizador. Por exemplo, que salas pertencem a um determinado instituto ou datas de revisão de um qualquer elemento de proteção contra incêndios. As pesquisas facilitam a procura de determinados dados, não sendo necessário procurá-los um a um. O *CityEngine Web Viewer*, apesar de não permitir pesquisas muito elaboradas, é bastante intuitivo, sendo possível qualquer pessoa utilizá-lo para o que necessite.

Estas pesquisas foram realizadas tendo por base a estrutura da base de dados que suporta o modelo do *Campus*, existindo um grande número de relações de *join*, que permitem relacionar informação de um determinado tema com informação de outro tema, como por exemplo, os equipamentos de proteção contra incêndios. Foram criadas relações que interligavam os atributos referentes a cada equipamento com a *shapefile* que continha as suas localizações. Também foram criadas relações entre cada piso do edifício C8 com os equipamentos de proteção contra incêndios, com as condutas de AVAC e com as canalizações de abastecimento de água, de forma a selecionar apenas determinada informação de um piso em particular. Todos os dados, na base de dados, estão interligados através de relações de *join*, através de atributos comuns, de forma a se poder consultar e aceder a informação passando por todas as entidades necessárias, sem existir falhas nos processos. A informação de cada equipamento de proteção contra incêndios, como por exemplo dos extintores, que se encontra ilustrada na Figura 4.17, é atualizada sempre que existe alguma alteração, pois os extintores têm datas de carregamentos ou de revisões que sofrem alterações. Através do desenvolvimento de uma aplicação, por exemplo, e que esteja devidamente interligada com a base de dados do modelo do *Campus*, poderá ser possível acrescentar ou atualizar informação referente a estes campos, sem ser necessário modificá-los diretamente na base de dados. As canalizações de abastecimento de água também contém os devidos atributos, estando estes representados na Figura 4.18.

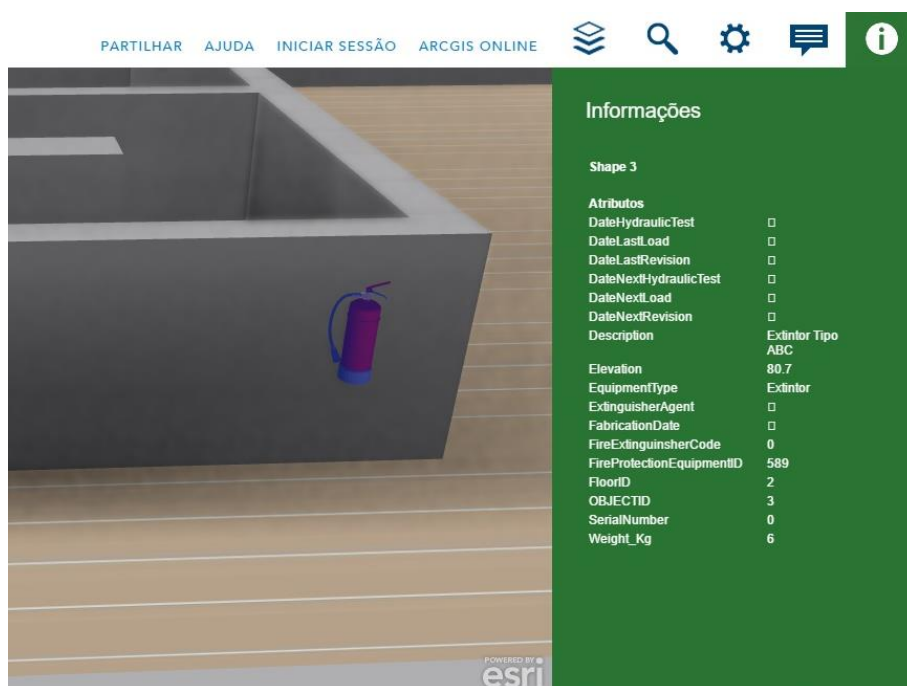


Figura 4.17 - Ilustração dos atributos de um equipamento de proteção contra incêndios: Extintor.



Figura 4.18 - Representação dos atributos de uma canalização de abastecimento de água no edifício C8.

Para além destas aplicações, é possível utilizar este modelo para outros fins. Um desses fins consiste em saber o consumo energético, por piso, em cada espaço e tentar perceber o porquê. Através de um estudo energético é possível verificar e obter dados concretos sobre os consumos e projetar no modelo quais os espaços que mais energia consomem e verificar a quem pertencem, uma vez que essa informação está inserida na caracterização dos espaços, bastando apenas relacionar os consumos energéticos com os espaços de cada piso na base de dados. Um segundo caso que pode ilustrar as potencialidades deste modelo consiste em representar a rota a seguir numa situação de emergência, dada a localização do utilizador.

Com estes exemplos é possível verificar e perceber as potencialidades deste modelo, existindo diferentes tipos de aplicações, desde consultas de informação sobre infraestruturas e espaços até estudos realizados sobre os mesmos.

Capítulo 5

5. Conclusões gerais

5. Conclusões gerais

Este projeto teve como grande objetivo o desenvolvimento de um modelo de dados de base geográfica que suportasse todo o funcionamento do *Campus*, englobando tanto dados geográficos como informação alfanumérica, de forma a que a mesma pudesse ser visualizada, consultada, gerida e atualizada, de forma interativa, pelo público interessado, como funcionários dos serviços da *FCUL*, docentes, alunos e visitantes. Para o desenvolvimento do modelo, foram usados dados referentes ao exterior do *Campus*, aos modelos 3D de cada edifício, às plantas de cada piso do edifício C8, aos elementos de proteção contra incêndios e às condutas de *AVAC*. Todos os dados, exceto os modelos 3D dos edifícios, foram primeiramente modelados em duas dimensões e, posteriormente em três, de forma a serem disponibilizados, visualizados e explorados na plataforma *CityEngine Web Viewer*.

De um modo geral, todo o processo de desenvolvimento e modelação do *Campus* Virtual foi realizado tendo por base uma metodologia de trabalho sequencial, tendo sido modificada em alguns processos. Um dos problemas com que se deparou consistiu na visualização de dados não geográficos na plataforma *CityEngine Web Viewer*, que não permitia que este tipo de dados fosse importado para a mesma. No entanto, o problema foi resolvido agregando a informação contida em tabelas inseridas na base de dados (informação não geográfica) com a respetiva informação geográfica, sendo possível assim, visualizar toda a informação necessária. Outro problema, que originou uma mudança na metodologia, consistiu na apresentação dos dados na plataforma *CityEngine Web Viewer*. Face ao problema apresentado anteriormente, houve necessidade de gerir a informação importada para a *Web*, para que a mesma não fosse apresentada, através de uma forma exaustiva, numa primeira visualização. Uma primeira resolução pensada para resolver o problema consistiu em apresentar os resultados por camadas, agregando dados da mesma categoria. Esta primeira solução não foi possível de se realizar, pois não era possível criar vários níveis de camadas dentro de outras. No entanto, foi criada numa alternativa à ideia inicial para que o objetivo de não sobrecarregar a imagem inicial do modelo fosse cumprido. Essa solução passou por criar tantas camadas quantos os tipos de dados que existiam, ou seja, criar camadas que agrupassem dados de categorias comuns, resultando numa representação bastante intuitiva.

A modelação das infraestruturas apresentadas neste *Campus*, correspondentes aos elementos de proteção contra incêndios, às canalizações de água e às condutas de *AVAC*, pertencente aos circuitos aeráulicos, foi realizada no *software CityEngine*. Este *software* é usado para a modelação de pequenas ou grandes cidades, representando todos os edifícios e espaços verdes nelas existentes. No entanto, o mesmo não é utilizado para a criação de um *BIM*, ou seja, de um modelo do interior de um edifício contendo todo o detalhe e informação nele existente. Face a este problema, foi necessário estudar como seriam apresentados os dados referentes às infraestruturas modeladas neste projeto. Uma das soluções apresentadas, consistiu em representar as infraestruturas por objetos de geometria implícita localizados nas posições das mesmas. Este método, no entanto, foi apenas utilizado nas infraestruturas pontuais, pois consistem em elementos que apenas estão localizados naquele ponto. Este método foi usado nos elementos de proteção contra incêndios, que consistem em elementos pontuais. Cada elemento foi representado por um objeto único. Em relação às condutas de *AVAC*, as mesmas foram criadas através de uma regra, desenhada para representar da forma mais real as condutas. Esta regra consistiu em dois aspetos, sendo o primeiro em extrudir os polígonos das condutas, com base numa altura definida, e o segundo em aplicar uma textura real, com o objetivo de tornar o resultado o mais real possível. Terminado este processo, todas as infraestruturas ficaram representadas em 3D.

Neste projeto foi possível conjugar vários elementos, de diferentes formatos, em apenas um local, com o objetivo de criar um único modelo. Este processo foi possível face ao *software* usado, que permite integrar diversos formatos de ficheiros em apenas um. No entanto, o facto de os dados terem sido obtidos

de diferentes formas, fez com que alguns processos não fossem desenvolvidos da melhor forma, devido a algumas incompatibilidades. Um desses processos consistiu na georreferenciação das plantas dos pisos com o *footprint* do edifício. Como foram obtidos por métodos diferentes, o processo de georreferenciação tornou-se de difícil realização, obtendo-se um *RMS* de 0.83m nos vértices do edifício. Estes resultados foram, no entanto, considerados aceitáveis face ao objetivo do produto final.

Apesar de alguns problemas encontrados ao longo da realização deste projeto, conseguiu-se obter os resultados propostos inicialmente, sendo possível aceder ao modelo e consultar informações existentes no mesmo. A informação existente sobre os espaços ainda só é possível visualizar sobre o piso 1. Através do link <http://arcg.is/2cUoYNR> é possível aceder ao *Campus* Virtual da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa como ele se encontra no término desta dissertação.

Como trabalho futuro, é necessário realizar todo este processo para os restantes edifícios, completando assim todo o *Campus* da *FCUL*. Apesar de já existirem dois tipos de infraestruturas no edifício C8, é necessário completar com as restantes, modelando assim todas as infraestruturas existentes no mesmo. Para além da modelação, é necessário completar as informações do modelo já existente, pois existem dados que não contêm informação, como é o exemplo de algumas infraestruturas ou espaços, ou não têm a informação completa do local.

Com a criação de uma aplicação do *Campus* Virtual da *FCUL*, depois de todo este estar devidamente modelado pelo seu exterior e pelo interior de todos os edifícios constituintes, será possível realizar uma gestão mais completa tanto dos espaços como das infraestruturas por parte dos serviços da *FCUL*, bem como um maior número de consultas ou visualizações por parte das restantes partes interessadas, abrangendo um maior número de informação. Com todos os extintores da *FCUL* modelados é possível realizar consultas gerais abrangendo diversos edifícios, tais como o conhecimento dos agentes encarregues da manutenção dos mesmos. Esta consulta irá mostrar que extintores pertencem a um determinado agente, realçando as suas localizações, podendo verificar se o mesmo agente é responsável pela manutenção de extintores localizados no mesmo edifício ou não, possibilitando uma melhor gestão da manutenção deste equipamento.

Uma vez que o desenvolvimento de uma aplicação resultaria num manuseamento interativo com o modelo, ou seja, podendo atualizar ou introduzir nova informação no modelo através das pessoas responsáveis, este iria contribuir para que a atualização dos atributos das infraestruturas e dos espaços fosse efetuada no instante em que as alterações acontecem. Exemplo disso é a ocupação dos espaços de um determinado edifício. Se um docente necessitar de realizar uma aula extra fora do seu horário de aulas, poderá aceder ao *Campus* virtual da *FCUL* e consultar que espaços estão livres. Assim que encontrar um, poderá alterar o estado desse mesmo espaço de “livre” para “ocupado”, fazendo com que outras pessoas o visualizem como não disponível. Esta alteração de estados dos espaços em tempo real pode ser efetuada, por exemplo, a uma biblioteca, podendo alterar o estado de “aberta” para “fechada” em tempo real, fazendo com que um aluno não se dirija para a mesma pensando que se encontra aberta.

Por fim, este modelo pode ser aplicado ao exterior do *Campus*. Um exemplo muito prático e útil diz respeito ao estacionamento no interior do mesmo. Se se modelar os estacionamentos existente com o número total exato de lugares e guardarmos essa informação na base de dados, é possível saber que lugares estão disponíveis e os que estão ocupados, recorrendo à instalação de sensores no terreno localizados em todos os estacionamentos. Estes sensores estariam ligados à base de dados, registando todas as ocupações de lugares. Caso o parque estivesse completo, uma informação do género “**Parque Completo**” seria enviada para o modelo virtual, com o intuito de alertar os interessados que já não existiam lugares não impedindo, de todo, a entrada no parque. Estes casos apresentados anteriormente são exemplos de aplicações que o modelo virtual do *Campus* da *FCUL* possui para desenvolvimento

futuro, existindo outros possíveis que também devem ser consideradas, como por exemplo, estudos realizados em redor do *Campus*, gestão do arvoredo e espaços verdes ou dos equipamentos de iluminação exteriores.

Referências Bibliográficas

Albino, V, Berardi, U & Dangelico, RM 2015, ‘Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives’, *Journal of Urban Technology*, vol. 22, no. 1, pp. 3-21.

Azhar, S 2011, ‘Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry’, *Leadership and Management in Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 241-252.

Ball, M 2016, *Creating a Spatially Enabled College Campus*. Disponível a partir de: <https://informedinfrastructure.com/21332/creating-a-spatially-enabled-college-Campus/>. [17 maio 2016].

Baratin, L, Bertozzi, S & Moretti, E 2015, ‘GIS Intelligence for a Cutting-Edge Management of 3D Cities’, *Digital Heritage*, Urbino University, Piazza della Repubblica.

Bexel Consulting, *Virtual Design and Construction and BIM*. Disponível a partir de: <http://www.bixelconsulting.com/technology/vdcbim.aspx>. [23 de maio de 2016].

Câmara Municipal de Lisboa 2016, Edifício C8 – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Disponível através de: <http://www.cm-lisboa.pt/equipamentos/equipamento/info/edificio-c8-faculdade-de-ciencias-da-universidade-de-lisboa>. [16 de setembro de 2016].

Caragliu, A, Del Bo, C & Nijkamp, P 2009, ‘Smart Cities in Europe’, *Journal of Urban Technology*, vol. 18, no. 2, pp. 65-82.

Chourabi, H, Nam, T, Walker, S, Gil-Garcia, JR, Mellouli, S, Nahon, K, Pardo, TA & Scholl, HJ 2012, ‘Understanding Smart Cities: An Integrative Framework’, *45th Hawaii International Conference on Systems Sciences*, TBD Maui, Hawaii, pp. 2289-2297.

Davis JR., CA & Laender, AHF 2000, ‘Extensões ao Modelo OMT-G para Produção de Esquemas Dinâmicos e de Apresentação’, *II Workshop Brasileiro de GeoInformática – GeoInfo 2000*, São Paulo, pp. 29-36.

De Angelis, E, Ciribini, ALC, Tagliabue, LC & Paneroni, M. 2015, ‘The Brescia Smart Campus demonstrator. Renovation toward a zero energy classroom building’, *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction*, College Avenue Commons, Arizona State University, Arizona, pp. 735-743.

ESRI, *ESRI Campus*. Disponível a partir de: <http://facilities.maps.arcgis.com/apps/CEWebViewer/viewer.html?3dWebScene=9c0e319bfaff4d33a0fe2da97c2c3fd7#>. [20 de maio de 2016].

ESRI 2016, Data Management. Disponível a partir de: <http://www.esri.com/products/arcgis-capabilities/data-management>. [14 de setembro de 2016].

ESRI 2016, University of Minnesota Campus Facilities. Disponível a partir de: <http://video.esri.com/watch/4954/university-of-minnesota-Campus-facilities>. [18 de março de 2016].

Gimenez, L, Hippolyte, JL, Robert, S, Suard, F & Zreik, K 2015, ‘Review: reconstruction of 3D building information models from 2D scanned plans’, *Journal of Building Engineering*, vol. 2, pp. 24-35.

Gonçalves, JA 2009, ‘Conversões de Sistemas de Coordenadas Nacionais para ETRS89 Utilizando Grelhas’, *VI Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*, Caldas da Rainha.

Gourlis, G & Kovacic, I 2016, ‘Building Information Modelling for analysis of energy efficient industrial buildings – A case study’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Disponível a partir de: ScienceDirect. [17 de março de 2016]

Gu, N & London, K 2010, ‘Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry’, *Automation in Construction*, vol. 19, no. 8, pp. 988-999.

Harris, KM 2015, ‘Developing a Custom ESRI Facilities Data Model: Whole Building Management Exploring BIM Support GIS Model’, em *Resource Analysis*, Saint Mary’s University of Minnesota Central Services Press, Minnesota, pp. 1-12.

Indiana Geographic Information Office, *What is GIS?*. Disponível a partir de: <http://www.in.gov/gis/gis101.htm>. [26 de maio de 2016].

Informed Infrastructure 2015, *Creating a Spatially Enabled College Campus, United States of America, 2015*. Disponível a partir de: <https://informedinfrastructure.com/21332/creating-a-spatially-enabled-college-Campus/>. [17 de maio de 2016].

Matildes, R 2009, *Detecção Fotogramétrica de Movimentos em Arribas Costeiras e Gestão do Inventário num Sistemade Informação Geográfica*, Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Disponível a partir de: Repositório da Universidade de Lisboa. [16 de setembro de 2016].

MaxiCAD, *MaxiCAD – BIM Service*. Disponível a partir de: <http://www.maxicad.com.br/web3/index.php/bim-service/24-normas-e-documentos/44-sobre-o-bim>. [23 de maio de 2016].

Merschbrock, C & Munkvold, BE 2014, ‘Succeeding with Building Information Modeling: A Case Study of BIM Diffusion in a Healthcare Construction Project’, *47th Hawaii International Conference on System Sciences*, Hilton Waikoloa, Waikoloa, Hawaii, pp. 3959-3968.

Mumtaz, S A 2008, ‘Integrating Terrestrial Laser Scanning Models into 3d Geodatabase’, *2nd International Conference on Advances in Space Technologies*, Islamabad, Pakistan, pp. 124-130.

Nasyrov, V, Stratbucker, S, Ritter, F, Borrmann, A, Hua, S & Lindauer, M 2014, ‘Buildig information models as input for building energy performance simulation – the current state of industrial implementations’, em *Arquitectura, Engenharia e Construção*, Taylor & Francis Group, London, pp. 479-486. Disponível a partir de: CRCnetBASE. [28 de maio de 2016].

Pereira, J 2012, *Modelos Urbanos Tridimensionais: Uma Análise na Perspectiva dos Sistemas de Informação Geográfica*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Disponível a partir de: Repositório da Universidade de Lisboa. [4 de março de 2016].

Redweik, P 2013, “*Produção de um M3DU*”, Apontamentos da disciplina de Modelação 3D Urbana, Faculdade de Ciências, Lisboa.

Rokooei, S 2015, ‘Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes’, *4th International Conference on Leadership, Technology, Innovation and Business Management*, Yildiz Campus, Besiktas, pp. 87-95.

Schlueter, A & Thesseling, F 2009, 'Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages, *Automation in Construction*, vol. 18, no. 2, pp. 153-163.

Smart Cities Council 2015, *Smart Cities Readiness Guide: The Planning manual for building tomorrow's cities today*, SCC, Redmond, Washington.

Schneider-Electric, *Smart Cities, França*. Disponível a partir de: http://www.schneider-electric.ae/sites/uae/en/solutions/sustainable_solutions/smart-cities.page. [18 de maio de 2016].

Sourin, A 2004, 'Nanyang Technological University Virtual Campus', *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 24, no. 6, pp. 6-8.

TVI24 2015, *A recriação do terramoto de 1755 que se tornou viral: Vídeo publicado em 2014 pelo Smithsonian Channel*. Disponível a partir de: <http://www.tvi24.iol.pt/acredite-se-quiser/terramoto-lisboa/a-recricao-do-terramoto-de-1755-que-se-tornou-viral>. [21 de maio de 2016].

Van Berlo, L & De Laat, R 2011, 'Integration of BIM and GIS: The Development of the CityGML GeoBIM Extension' em *Advances in 3D Geo-Information Sciences*, eds T H Kolbe, G König & C Nagel, Springer-Verlag GmbH, Berlim, pp. 211-225.

Vosselman, G & Dijkman, S 2001, '3D Building Model Reconstruction from Point Clouds and Ground Plans', *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 34, no. 4, pp. 37-43.

Wieczorek, B & Sobieraj, A 2013, '3D GIS Technology More Accurate GIS Every-Day-Reality', *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, vol. 78, no. 2013, pp. 66-70.

Yin, X, Wonka, P & Razdan, A 2009, 'Generating 3D Building Models from Architectural Drawings: A Survey', *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 29, no. 1, pp. 20-30.

Zhang, H, Li, Y & Liu, C 2014, 'The Application of GIS 3D Modeling and Analysis Technology in Real Estate Mass Appraisal – Taking Landscape and Sunlight Factors as the Example', *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XL, no. 4.

Zhang, Y & Wang, G 2009, 'Cooperation between Building Information Modeling and Integrated Project Delivery Method Leads to Paradigm Shift of AEC Industry', *Internacional Conference on Management and Services Science*, TBD Wuhan, China, pp. 1-4.

Anexos

Anexo A1 – Regra CGA desenvolvida para modelação do exterior do *Campus* e interior do Edifício C8 em três dimensões.

```

/*
 * File: Programa
 * Created: 14-07-2016
 * Author: Duarte Lima FC42638
 */

@StartRule

attr ShortName = ""
attr SpaceType = ""
attr ParedeInterior = 1.2
attr ParedeExterior = 2.5
attr Pilar = 2.5
attr Auxiliar = 0.9
attr Layer = ""
attr Arvores_Jardim = 8
attr Arvores_Canteiro = 6

/* Regra para extrusao das Paredes Interiores e Exteriores, bem como dos Pilares */

Parede --> case ShortName == "Parede Exterior" : extrude( ParedeExterior )
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.009, '0.009 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/Parede.jpg")
case ShortName == "Parede Interior" : extrude( ParedeInterior )
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.009, '0.009 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/Parede.jpg")
case ShortName == "Pilar" : extrude( Pilar )
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.009, '0.009 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/Parede.jpg")
case ShortName == "Auxiliar" : extrude( Auxiliar )
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.009, '0.009 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/Parede.jpg")
case SpaceType == "Sala" || ShortName == "Gabinete" || SpaceType == "Biblioteca" ||
SpaceType == "Laboratório" || SpaceType == "Arquivo" || ShortName == "Corredor" || SpaceType
== "Gabinete" || SpaceType == "Sala de Aula" || SpaceType == "Sala de Concívio" :
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.1, '0.1 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/Chão2.jpg")
case ShortName == "Atrio" || SpaceType == "Arrumos" || SpaceType == "Zona Técnica"
|| SpaceType == "Instalação Sanitária" || SpaceType == "Elevador" || SpaceType ==
"Estacionamento Coberto" || SpaceType == "Armazém" :

```

```

        setupProjection( 0, scope.xy, '0.1, '0.1 )
        projectUV( 0 )
        texture("images/Chão3.jpg")
    else : NIL

/* Regra para aplicacao de texturas às componentes exteriores do Campus */

Textura --> case Layer == "Estrada" :
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.005, '0.005 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/pavimento.jpg")
case Layer == "Passeio" :
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.005, '0.005 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/Calçada2.jpg")
case Layer == "Estacionamento" :
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.009, '0.009 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/estacionamento.jpg")
case Layer == "Jardim" :
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.5, '0.5 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/images.png")
case Layer == "Canteiro" :
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.4, '0.1 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/647415163_337 - Verde bandeira_thumb.jpg")
else : NIL

```

Anexo A2 – Regra CGA desenvolvida para aplicação de textura na tubagem de canalização.

```

/**
 * File:  Pipes.cga
 * Created: 18 Sep 2016 15:23:37 GMT
 * Author: Duarte Lima FC42638
 */

@StartRule

attr Description = ""

Pipes --> case Description == "Água quente" :
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.1, '0.1 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/AguaQuente.jpg")

```

```

case Description == "Água fria + quente" :
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.1, '0.1 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/amarelo.png")
case Description == "Água fria" :
    setupProjection( 0, scope.xy, '0.1, '0.1 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/azul claro.jpg")
else : NIL

```

Anexo A3 – Regra CGA desenvolvida para extrudir e texturizar as condutas de AVAC.

```

/**
 * File:  HVAC.cga
 * Created: 24 Jul 2016 16:59:30 GMT
 * Author: Duarte Lima FC42638
 */

@StartRule

attr EquipmentType = ""
attr Conduta = 0.40

CondutaHVAC --> case EquipmentType == "Conduta de Ar-Condicionado" : extrude( Conduta )
    setupProjection( 0, scope.xy, '1, '1 )
    projectUV( 0 )
    texture("images/CondutasHVAC.jpg")
else : NIL

```

Anexo A4 – Regra CGA desenvolvida para aplicação de objeto de geometria implícita do equipamento extintor.

```

/**
 * File:  ExtintoresS.cga
 * Created: 20 Jul 2016 08:12:17 GMT
 * Author: Duarte Lima FC42638
 */

@StartRule

attr N_Extintores = 1

ExtintorS --> scatter( surface, N_Extintores, uniform ) { Leaf_ExtintorS }
Leaf_ExtintorS --> 100% : i("models/Fireprotection/FireExtinguisher/model.dae")
    s( '1, '1, '1 )
    t( -0.4, 0, 0.1 )
    r( 0, -70, 0 )
else : NIL

```

Anexo A5 – Regra CGA desenvolvida para aplicação de objeto de geometria implícita do equipamento sirene de alarme.

```
/**
 * File: Sirene.cga
 * Created: 20 Aug 2016 21:41:42 GMT
 * Author: Duarte Lima FC4238
 */

attr EquipmentType = ""
attr N_Sirenes = 1

Equipamento --> case EquipmentType == "Sirene de Alarme" : Funcao
                    else : NIL

Funcao --> scatter( surface, N_Sirenes, uniform ) { Leaf_SireneAlarme }
Leaf_SireneAlarme --> 100% : i("models/Fireprotection/SIREN/model.dae")
                        s( '0.8, '0.8, '0.8 )
                        else : NIL
```

Anexo A6 – Regra CGA desenvolvida para aplicação de objeto de geometria implícita do equipamento detetor de fumo e termovelocimétrico.

```
/**
 * File: Programa
 * Created: 14-07-2016
 * Author: Duarte Lima FC42638
 */

@StartRule

attr EquipmentType = ""
attr N_Detectores = 1

Equipamento --> case EquipmentType == "Detector de Fumo" : Funcao
                    case EquipmentType == "Detector Termovelocimétrico" : Funcao
                    else : NIL

Funcao --> scatter( surface, N_Detectores, uniform ) { Leaf_DetectorDeFumo }
Leaf_DetectorDeFumo --> 100% : i("models/Fireprotection/SmokeDetector/model.dae")
                        s( '1, '1, '1 )
                        else : NIL
```

Anexo A7 – Regra CGA desenvolvida para aplicação de objeto de geometria implícita do equipamento carretel.

```
/**
 * File: CarretelS.cga
 * Created: 20 Aug 2016 22:36:37 GMT
 * Author: Duarte Lima FC42638
 */

attr EquipmentType = ""
attr N_Carretel = 1

Equipamento --> case EquipmentType == "Carretel" : Funcao
                else : NIL

Funcao --> scatter( surface, N_Carretel, uniform ) { Leaf_Carretel }
Leaf_Carretel --> 100% : i("models/Fireprotection/Fire+extinguisher+set/Reel.dae")
                        s( '0.8, '0.8, '0.8 )
                        t( -1, -0.3, 1.2 )
                        r( 0, -160, 0 )
                        color( 1, 0, 0 )
                        else : NIL
```

Anexo A8 – Regra CGA desenvolvida para aplicação de objeto de geometria implícita do equipamento botoneira de incêndio.

```
/*
 * File: Programa
 * Created: 14-07-2016
 * Author: Duarte Lima FC42638
 */

@StartRule

attr N_BotoneirasDeIncendio = 1

BotoneiraDeIncendioS --> scatter( surface, N_BotoneirasDeIncendio, uniform ) {
Leaf_BotoneirasDeIncendioS }
Leaf_BotoneirasDeIncendioS --> 100% : i("models/Fireprotection/Simplex+Dual-
Action+PS+Dynamic+for+3DW - 1/model.dae")
                                s( '1, '1, '1 )
                                t( 0, 0, -0.19 )
                                r( 90, 20, 0 )
                                else : NIL
```